

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Lehrstuhl für

Betriebswissenschaften und Montagetechnik

Identifikation und Adaption von Arbeitsplätzen für leistungsgewandelte Mitarbeiter entlang des Montageplanungsprozesses

Jörg Franz Egbers

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Maschinenwesen der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart
2. Univ.-Prof. Dr. phil. Klaus Bengler

Die Dissertation wurde am 30.10.2012 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen am 20.02.2013 angenommen.

Vorwort

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften der Technischen Universität München.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart und Herrn Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh, den Leitern dieses Instituts, gilt mein besonderer Dank für die wohlwollende Förderung und großzügige Unterstützung meiner Arbeit. Bei Herrn Prof. Dr. phil. Klaus Bengler, dem Leiter des Lehrstuhls für Ergonomie der Technischen Universität München, möchte ich mich für die Übernahme des Koreferats, die sehr aufmerksame Durchsicht der Arbeit und die interessanten Diskussionen sehr herzlich bedanken.

Hervorheben möchte ich die Projektpartner im FitForAge-Forschungsverbund: Sie haben mir Untersuchungen der betrieblichen Praxis ermöglicht und die unternehmerische und gesellschaftliche Relevanz der Thematik leistungsgewandelter Mitarbeiter durch ihr Engagement eindrucksvoll unterstrichen. Herr Prof. Dr. Patrick Neumann gab mir durch seine Einladung an das Human Factors Engineering Lab der Ryerson University Toronto die Möglichkeit, meine Ansätze und Ergebnisse in Diskussionen mit internationalen Experten zu hinterfragen und zu vertiefen.

Bedanken möchte ich mich herzlich bei allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Instituts sowie den Studierenden, die mich bei der Erstellung der Arbeit unterstützt haben. Hervorheben möchte ich meine Kollegen, die Herren Matthias Glonegger, Stefan Krug und Rüdiger Spillner, die meine Dissertation kritisch durchgesehen haben und mir durch ihre konstruktiven Ratschläge wertvolle Verbesserungsansätze gegeben haben.

Nur dank der immerwährenden Unterstützung meiner Eltern konnte ich diese Arbeit mit Zuversicht beginnen und erfolgreich abschließen. Sie haben mir meine Ausbildung ermöglicht, mich stets in allen Lebenssituationen unterstützt und mir die notwendige Stabilität gegeben. Ihnen ist diese Arbeit gewidmet.

Nicht zuletzt gilt mein besonderer Dank meiner Partnerin Sunita, die mir stets die großen und kleinen Freiräume für die Fertigstellung gab, durch gutes Beispiel voranging und mich unermüdlich unterstützte.

München, im März 2013

Jörg Egbers

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Verzeichnis der Abkürzungen und Akronyme	V
Verzeichnis der Formelzeichen.....	VII
1 Einleitung und Zielsetzung.....	1
1.1 Ausgangssituation	1
1.2 Zielsetzung	2
1.3 Untersuchungsbereich.....	3
1.3.1 Grundlegende Begrifflichkeiten	3
1.3.2 Thematische Einordnung der Arbeit	5
1.4 Vorgehen.....	8
2 Grundlagen und aktuelle Gestaltungsansätze.....	11
2.1 Demographischer Wandel.....	11
2.2 Auswirkungen des demographischen Wandels auf die Montage	13
2.2.1 Arbeitsbelastungen in der Montage.....	14
2.2.2 Montagerelevante Fähigkeiten im Altersverlauf.....	15
2.2.3 Implikationen für Montagesystemgestaltung und -betrieb.....	16
2.2.4 Implikationen für Arbeitsorganisation und Produktivität	17
2.3 Datenlage zu LGW in produzierenden Unternehmen.....	18
2.3.1 Status Quo in der Elektroindustrie	18
2.3.2 Status Quo in der Metallindustrie.....	21
2.3.3 Status Quo in der Automobil- und Zulieferindustrie	23
2.4 Aktuelle Ansätze im Umgang mit leistungsgewandelten Mitarbeitern ...	24

2.4.1	Makro- und mikroergonomische Strategien	24
2.4.2	Maßnahmen für Fertigung und Montage	26
2.4.3	Vorgehen zur reaktiven Adaption von Arbeitsstrukturen	28
2.5	Zusammenfassende Darstellung der Problemstellung	29
3	Wissenschaftliche Vorarbeiten und Methoden	31
3.1	Planung von Montagesystemen	31
3.1.1	Analyse und Zieldefinition.....	32
3.1.2	Konzeption, Ablaufplanung und Systementwurf.....	33
3.1.3	Feinplanung und Ausarbeitung	35
3.1.4	Implementierung und Betrieb	35
3.1.5	Ansätze für spezifische Planungsaufgaben	36
3.2	Profilvergleich durch Belastungs- und Fähigkeitsanalyse.....	37
3.2.1	Belastungsanalyse	37
3.2.2	Fähigkeitsanalyse	38
3.2.3	Profilvergleich.....	40
3.3	Individuelle Fähigkeiten in der Montageplanung.....	42
3.3.1	Ansätze der Personaleinsatzplanung	43
3.3.2	Ansätze des Operations Research	45
3.3.3	Produktionsergonomische Strategien.....	47
3.3.4	Produktionsergonomische Gestaltungsansätze	49
3.3.5	Demographieorientierte Ansätze.....	51
3.4	Diskussion des Forschungsstandes	52
4	Konzeption der Methodik	57

4.1	Spezifische Anforderungen an die Methodik	57
4.2	Leitgedanke der Methodik	59
4.3	Grundlegende Formalisierungen.....	61
4.3.1	Datenstruktur für den Profilvergleich.....	62
4.3.2	Ausprägungen von Profilvergleichskriterien.....	63
4.3.3	Charakteristische Planungszeitpunkte	66
5	 Detaillierung der Methodik.....	67
5.1	Übersicht über den Ablauf der Methodik	67
5.2	Festlegung von Bewertungszeitpunkten	68
5.2.1	Einfluss von Planungsmethoden auf Arbeitsbelastungen	68
5.2.2	Methode zur Festlegung von Bewertungszeitpunkten	72
5.3	Festlegung von Planungszielen	79
5.3.1	Planungsziele und Zuordnungsstrategien	79
5.3.2	Methode zur Festlegung von Planungszielen.....	88
5.4	Bewertung des Planungsstandes	92
5.4.1	Mitarbeiterzuordnung und Planungsbewertung	92
5.4.2	Methode zur Bewertung des Planungsstandes	98
5.5	Anpassung des Planungsstandes	103
5.5.1	Priorisierung von Adaptionsbedarfen und Maßnahmenauswahl ...	103
5.5.2	Methode zur Anpassung des Planungsstandes	109
5.6	Fazit.....	110
6	 Anwendung und Bewertung der Methodik.....	113
6.1	Entwickelte Werkzeuge	113

6.2	Anwendung der Methodik	114
6.2.1	Aufbau der Anwendungsbeispiele	114
6.2.2	Anwendungsbeispiel 1	115
6.2.3	Anwendungsbeispiel 2	120
6.2.4	Zusammenfassung	123
6.3	Bewertung der Methodik	124
6.3.1	Erfüllung der spezifischen Anforderungen	124
6.3.2	Aufwand und Nutzen	126
7	Zusammenfassung und Ausblick.....	129
7.1	Zusammenfassung	129
7.2	Ausblick	130
	Literaturverzeichnis	133
	Anhang	159
	Verzeichnis betreuter Studienarbeiten	164

Verzeichnis der Abkürzungen und Akronyme

AAWS	Automotive Assembly Worksheet
ABA	Anforderungs- und Belastbarkeitsanalyse
BEM	Betriebliches Eingliederungsmanagement
bspw.	beispielsweise
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise
d. h.	das heißt
DIN	Deutsche Industrienorm
EAWS	European Assembly Worksheet
EBI	Ergonomischer Bewertungs-Index
Ergo-FWS	Ergonomie-Frühwarnsystem
engl.	englisch
et al.	et alii
ETI	ERGOS To IMBA
f.	folgende
ff.	fortfolgende
FCE	Functional Capacity Evaluation
GUI	Graphical User Interface
ICF	International Classification of Functioning, Disability, and Health
IMBA	Integration von Menschen mit Behinderungen in die Arbeitswelt
IWS	Isernhagen Work System
LGW	Leistungsgewandelter Mitarbeiter

LMM	Leitmerkmalmethode
LW	Leistungswandlung
MSE	Muskuloskelettale Erkrankung
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health
OWAS	Ovako Working Posture Analysing System
PEP	Produktentstehungsprozess
PVK	Profilvergleichskriterium
S.	Seite
sog.	sogenannte
SQL	Structured Query Language
syn.	synonym
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e.V.
u. a.	unter anderem
u. d. N.	unter den Nebenbedingungen
UML	Unified Modeling Language
vgl.	vergleiche
z. B.	zum Beispiel
zugl.	zugleich

Verzeichnis der Formelzeichen

a_{ik}	Wert der Leistungswandlung von Mitarbeiter i bzgl. Profilvergleichskriterium k
A_t^A	Anzahl anzupassender Arbeitsplätze für nicht integrierte leistungsgewandelte Mitarbeiter zum Planungszeitpunkt t
$A_{ij,t}^K$	Aufwand zur Adaption von Arbeitsplatz j für Mitarbeiter i zum Planungszeitpunkt t
A_t^K	Adaptionsaufwand auf Kriterienebene zur Integration aller leistungsgewandelten Mitarbeiter im Gesamtsystem zum Planungszeitpunkt t
B_k	Berechnungsvorschrift zur Ermittlung des Belastungswertes von Profilvergleichskriterium k
c_{ij}	Eignungskoeffizient für Mitarbeiter i und Arbeitsplatz j im linearen Zuordnungsproblem
$c_{ijk,t}$	Eignungskoeffizient für Mitarbeiter i und Arbeitsplatz j bzgl. Profilvergleichskriterium k zum Planungszeitpunkt t
$d_{jk,t}$	Wert der Arbeitsbelastung von Arbeitsplatz j bzgl. Profilvergleichskriterium k zum Planungszeitpunkt t
$e_{ij,t,1}$	Modifizierter Eignungskoeffizient zur Minimierung der Anzahl an Arbeitsplätzen mit negativen Eignungskoeffizienten
$e_{ij,t,2}$	Modifizierter Eignungskoeffizient zur Minimierung des Betrags negativer Eignungskoeffizienten
$e_{ij,t,3}$	Modifizierter Eignungskoeffizient zur Minimierung des Betrags positiver Eignungskoeffizienten
$e_{ij,t,4}$	Modifizierter Eignungskoeffizient zur Maximierung des Betrags positiver Eignungskoeffizienten
$\overline{F^M}$	Zieleinsatzflexibilität eines Planungsprojektes
$F_{i,t}^M$	Individuelle Einsatzflexibilität eines zum Planungszeitpunkt t integrierten leistungsgewandelten Mitarbeiters

F_t^M	Einsatzflexibilität der zum Planungszeitpunkt t integrierten leistungsgewandelter Mitarbeiter im Gesamtsystem
f_k	Anzahl an Attributen zur Berechnung des Belastungswertes für Profilvergleichskriterium k
$G_{ij,t}^M$	Individueller Grad der Fähigkeitsnutzung eines zum Planungszeitpunkt t integrierten leistungsgewandelten Mitarbeiters am zugeordneten Arbeitsplatz j
G_t^M	Grad der Fähigkeitsnutzung aller zum Planungszeitpunkt t integrierten leistungsgewandelten Mitarbeiter auf Gesamtsystemebene
i	Laufvariable für Mitarbeiter
\bar{I}	Zielintegrationsgrad eines Planungsprojektes
I_t	Integrationsgrad leistungsgewandelter Mitarbeiter zum Planungszeitpunkt t
j	Laufvariable für Arbeitsplätze
k	Laufvariable für Profilvergleichskriterien
K_k	Klassifizierungsvorschrift zur Überführung des Belastungswertes von Profilvergleichskriterium k in das Niveau der Arbeitsbelastung
l_k	Laufvariable für Attribute von Profilvergleichskriterium k
m	Anzahl an Arbeitsplätzen
M	Menge an Arbeitsplätzen
n	Anzahl an Mitarbeitern
N	Menge an Mitarbeitern
N_1	Menge an Mitarbeitern ohne Leistungswandlungen
N_2	Menge an Mitarbeitern mit Leistungswandlungen
N_{2i}^t	Menge an leistungsgewandelten Mitarbeitern, die ohne Adaption zum Planungszeitpunkt t einem Arbeitsplatz zugeordnet werden

N_{2n}^t	Menge an leistungsgewandelten Mitarbeitern, die ohne Adaption zum Planungszeitpunkt t keinem Arbeitsplatz zugeordnet werden
p	Anzahl an Profilvergleichskriterien
P	Menge an Profilvergleichskriterien
s_1	Sortierungskriterium zur Beurteilung des Grades der Einsatzflexibilitätsverbesserung im Verhältnis zum Anpassungsaufwand auf Gesamtsystemebene
s_2	Sortierungskriterium zur Beurteilung des Grades der Integrationsverbesserung im Verhältnis zum Anpassungsaufwand auf Gesamtsystemebene
s_3	Sortierungskriterium zur Auswahl von Adaptionsbedarfen auf Basis der Anzahl an anzupassenden Kriterien
t_k	Bewertungszeitpunkt für Profilvergleichskriterium k , d.h. Planungszeitpunkt, nach welchem der Belastungswert von Belastungsanalysekriterium k während des weiteren Montageplanungsprozesses nicht mehr verändert wird
$t_{l_k}^a$	Planungszeitpunkt, zu welchem erstmals während des Montageplanungsprozesses ein Wert für Attribut l_k ermittelbar ist.
t_k^a	Planungszeitpunkt, zu welchem erstmals während des Montageplanungsprozesses der Belastungswert von Belastungsanalysekriterium k ermittelbar ist
$t_{l_k}^b$	Planungszeitpunkt(e), zu welchem(n) während des Montagsplanungsprozesses der Wert von Attribut l_k verändert wird
t_k^b	Planungszeitpunkt(e), zu welchem(n) während des Montagsplanungsprozesses der Belastungswert von Belastungsanalysekriterium k verändert wird
t_{l_k}	Planungszeitpunkt, nach welchem der Wert von Attribut l_k während des weiteren Montageplanungsprozesses nicht mehr verändert wird
v	Laufvariable für Planungsmethoden
w	Laufvariable für Attribute

x_{ij}	Binäre Zuordnungsvariable
$\Delta_{F_t}^j$	Grad der Einsatzflexibilitätsverbesserung auf Gesamtsystemebene zum Planungszeitpunkt t
$\Delta_{I_t}^j$	Grad der Integrationsverbesserung auf Gesamtsystemebene zum Planungszeitpunkt t

1 Einleitung und Zielsetzung

“[...] careful application of Human Factors principles in the design of operations can improve productivity, quality, technology implementation, and have intangible benefits for operations while also securing well being and working conditions for employees” (NEUMANN & DUL 2010, S. 939).

1.1 Ausgangssituation

Die menschliche Arbeitskraft zählt neben Betriebsmitteln und Werkstoffen zu den Elementarfaktoren eines Produktionsprozesses (GUTENBERG 1983). Besonders in der von manuellen Prozessen geprägten Montage sind Mitarbeiter¹ und deren wirtschaftlicher Einsatz von größter Bedeutung: Der Anteil manueller Tätigkeiten beispielsweise in der Endmontage von Automobilen beträgt über 95 % (HOLWEG & PIL 2004), der Montageanteil der in der Produktion anfallenden Kosten wird mit bis zu 70 % beziffert (GAIROLA 1986; PFEIFFER 1989; LOTTER 1992). Je früher arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse in den Produktentstehungsprozess (kurz PEP) und damit in die Produktionsentwicklung einfließen, desto geringere negative Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit sind zu erwarten (HENDRICK 2003; SCHLICK ET AL. 2010, S. 1131) (Abbildung 1).

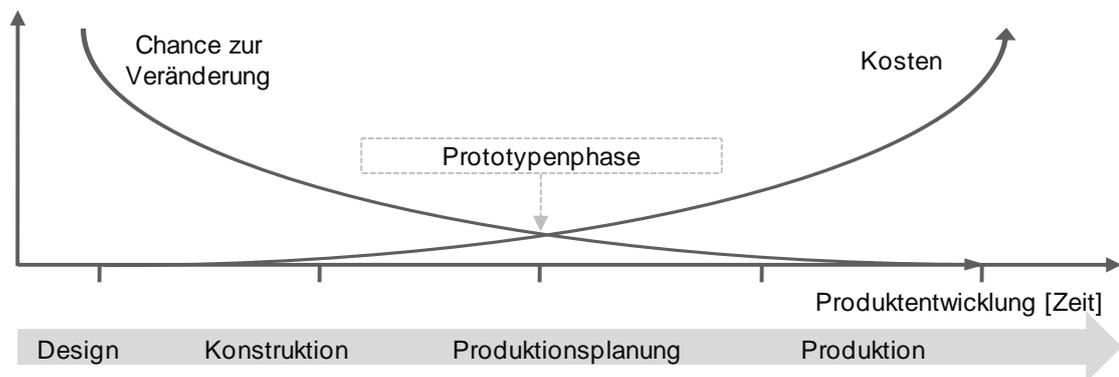


Abbildung 1: *Ergonomie und Wirtschaftlichkeit im Produktentstehungsprozess (nach SCHLICK ET AL. 2010, S. 1131)*

Die Zunahme an leistungsgewandelten Mitarbeitern (kurz LGW), also Mitarbeitern, die auch ergonomisch gestaltete und bestimmte gering belastende Tätigkeiten

¹ Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird im Folgenden die männliche Schreibweise verwendet. Entsprechende Angaben beziehen sich stets auf Angehörige beider Geschlechter.

nicht ausführen können, erhöht das Risiko, keine adäquaten Arbeitsplätze zur Verfügung stellen zu können sowie Arbeitsplätze nicht mit der vorhandenen Belegschaft besetzen zu können. Bestehende Arbeitsstrukturen und Arbeitsplätze müssen nachträglich an die Fähigkeiten der einzusetzenden Belegschaft angepasst werden, wenn diese Ausrichtung nicht schon während der Planung von Produktionssystemen vorgenommen wird (BULLINGER & AMMER 1986, S. 21; BULLINGER & TRAUT 1986; REFA 1993A, S. 185). Hoher personeller, infrastruktureller und finanzieller Aufwand ist die Folge. Für den Betrieb von Montagesystemen entsteht zudem durch eine sinkende Personaleinsatzflexibilität hoher Aufwand für die kurzfristige Personaldisposition. Üben leistungsgewandelte Mitarbeiter keine fähigkeitsentsprechenden Tätigkeiten in der Montage aus, droht der Einsatz als Hilfskraft oder im schlechtesten Fall die Verschwendung von Produktivitätspotenzial und Know-how (MENGENS 1998).

Eine Kombination von hoher Produktivität und menschlichem Wohlbefinden ist jedoch erreichbar, wenn Arbeitssysteme mit dem Menschen im Mittelpunkt gestaltet werden (DUL ET AL. 2004, S. 3). Um zukunftsicher am Hochlohnstandort Deutschland Wertschöpfung in der Montage betreiben zu können, ist deshalb das Personal und seine Fähigkeiten bei der Auslegung von Montagesystemen mit hohem Anteil an manuellen Tätigkeiten zu berücksichtigen.

1.2 Zielsetzung

Eine der zentralen Fragen für Produktionstechnik und -management lautet nach SCHUH ET AL. (2008, S. 671): „Wie gestaltet sich die Montage der Zukunft in Bezug auf den Menschen?“ Die vorliegende Arbeit soll zur Beantwortung dieser Frage einen Beitrag leisten, indem eine Methode zur Integration von Leistungswandlungen (kurz LW) in die Montageplanung und zur planungsbegleitenden Bewertung der Personaleinsatzbarkeit vorgestellt wird. Die der vorliegenden Arbeit zugrundeliegende Frage lautet daher: Wie gestaltet sich die Montage der Zukunft in Bezug auf die einzusetzende Belegschaft?

Das Ziel der vorliegenden Arbeit besteht in Entwicklung einer Methodik zur Identifikation und Adaption von Arbeitsplätzen für leistungsgewandelte Mitarbeiter entlang des Montageplanungsprozesses. Geeignete Arbeitsplätze sollen nach Art und Anzahl individuellen Leistungswandlungen entsprechend bereits bei der Implementierung des Montagesystems zur Verfügung gestellt werden.

Zur Erreichung dieses Ziels wird eine Methodik entwickelt, die unter Nutzung von Daten aus Profilvergleichssystemen die Bewertung des jeweiligen Planungsstandes hinsichtlich der Einsetzbarkeit Leistungsgewandelter ermöglicht, so die zielgerichtete Ableitung von Anpassungsbedarfen und schließlich die Einbindung von integrationsförderlichen Maßnahmen in den jeweils aktuellen Planungsstand ermöglicht.

1.3 Untersuchungsbereich

1.3.1 Grundlegende Begrifflichkeiten

Die Montage umfasst nach VDI 2860 (1990) die Gesamtheit aller Prozesse, die dem Zusammenbau von geometrisch bestimmten Bauteilen und Komponenten zu einem Produkt höherer Komplexität dienen. Die Kernprozesse bestehen aus dem Handhaben und Fügen von Vorprodukten und Teilen geringerer Komplexität. Weitere Montageprozesse umfassen das Kontrollieren, Justieren, Zubringen sowie verschiedene Sonder- und Hilfsfunktionen (DIN 8593-0 (1985); LOTTER ET AL. 1998). Zur Erfüllung aller Aufgaben bei der Ausführung von Montageprozessen bei einem gegebenen und festgelegten Produktspektrum wird ein Montagesystem eingesetzt (SPUR & STÖFERLE 1986, S. 593), welches zur Komplexitätsbeherrschung während der Planung in hierarchisch gegliederte Subsysteme unterteilt werden kann (JONAS 2000, S. 10). Kleinste autonome Einheit eines Montagesystems ist die Montagezelle (KLEINEIDAM 1990; PARK 1992; ROCKLAND 1995; JONAS 2000, S. 9). Eine Montagezelle besteht aus einzelnen nichtselbständigen Basiseinheiten, den Montagestationen (BRANDIMARTE 1999). Die Kombination mehrerer Montagestationen nach dem Fließprinzip bildet eine Montagelinie, nach der Montagefolge ein Montagezentrum (HUCK 1990). Mehrere Montagelinien und/oder Montagezentren bilden das Montagesystem (JONAS 2000, S. 10).

Für die fokussierten Mitarbeiter existieren in der Literatur voneinander abweichende Definitionen, die sich hinsichtlich des Umfangs fokussierter Fähigkeiten, zugrunde liegender Ursachen und der Reversibilität von Leistungswandlungen unterscheiden lassen. Es bestehen für LGW keine rechtlich bindenden Eingrenzungen, die eine systematische unternehmensübergreifende Definition von zu einer Leistungswandlung führenden Faktoren ermöglichen. Zur einheitlichen Klassifi-

kation von Krankheiten und Behinderungen wird hingegen die „International Classification of Functioning, Disability and Health“ (kurz ICF) angewendet (DIMDI 2005; RENTSCH & BUCHER 2006; SCHLICK ET AL. 2010, S. 147).

Ursprünglich werden Mitarbeiter als leistungsgewandelt bezeichnet, die „aufgrund ihres Alters, altersbedingten Verschleißes oder genetischer Ursachen relevante Veränderungen in ihrer beruflichen Leistungsfähigkeit“ erfahren haben (SCHRADER ET AL. 1995, S. 13). Im Vergleich zu dem Begriff der Leistungsmin- derung impliziert diese Definition, dass Leistungswandlungen auch zu positiven Veränderungen der beruflichen Leistungsfähigkeit führen können.

Aufgrund der rechtlich nicht eindeutigen Zuordnungsmöglichkeiten verstehen SCHRADER ET AL. (1995) „auch deutlich unterdurchschnittlich belastbare, wenig begabte oder motivierte bzw. unengagierte Mitarbeiter“ als leistungsgewandelt. RUDOW (2004) bezeichnet als leistungsgewandelt eine gesundheitlich nicht nur vorübergehend irreversibel beeinträchtigte Arbeitsperson, der kein Grad der Be- hinderung zuerkannt wurde. Als behindert gelten hingegen Menschen nach §2 Abs. 1 SGB IX, „wenn ihre körperliche Funktion, geistige Fähigkeit oder see- lische Gesundheit mit hoher Wahrscheinlichkeit länger als sechs Monate von dem für das Lebensalter typischen Zustand abweichen und daher ihre Teilhabe am Le- ben in der Gesellschaft beeinträchtigt ist“. NOWAK (2007, S. 23) differenziert Leis- tungsgewandelte und Schwerbehinderte: Leistungswandlungen werden durch ei- nen Abgleich von Arbeitsplatzanforderungen und dem individuellen Fähigkeits- profil des Mitarbeiters beurteilt. PRASCH (2010, S. 34 ff.) definiert Leistungswand- lungen über den Zeitraum einer Arbeitsunfähigkeit nach den ARBEITSUNFÄHIGKEITS-RICHTLINIEN (2004), die sechs Monate überschreitet und eine beschränkte Eignung des Mitarbeiters für bestimmte Arbeitsplätze mit sich zieht.

MENGES (1998) beschreibt Leistungsgewandelte als Mitarbeiter mit einer einge- schränkten körperlichen Belastbarkeit, die keine Normalleistung nach REFA (1978, S. 136) erreichen, da betreffende Veränderungen eine arbeitsmedizinische Relevanz aufweisen, die zu individuell erhöhten gesundheitlichen Risiken bei Nichtbeachtung führen können. Zudem führen Krankheiten zu Leistungswandlung- en, sofern nicht nur vorübergehende (d. h. einen Zeitraum von mehr als sechs Monaten betreffende) Beeinträchtigungen der beruflichen Leistungsfähigkeit auf- treten. Als weitere Ursache von Leistungswandlungen nach dieser Definition sind berufsbedingt verursachte Verschleißerscheinungen zu nennen (EGBERS ET AL. 2010). Die vorliegende Arbeit folgt der Definition nach NOWAK (2007).

Das adressierte Fähigkeitsspektrum orientiert sich an NOWAK (2007, S. 23), nach dem typische körperliche Leistungswandlungen in Abweichungen von mittlerer und maximaler dynamischer sowie statischer Muskelkraft, motorischer Leistungsfähigkeit (Geschicklichkeit, Bewegungsgeschwindigkeit, Koordination) und kardiopulmonaler Leistungsfähigkeit (Herz und Lunge betreffend) bestehen. Informativ-mentale Leistungswandlungen umfassen Prozesse zur Informationsaufnahme, Informationsverarbeitung und Informationsabgabe. Für die Beurteilung psychischer Leistungswandlungen sind Anforderungsanalysen, Leistungsvoraussetzungsanalysen sowie Analysen der Aufmerksamkeit und der Motivation und Arbeitszufriedenheit notwendig (NOWAK 2007, S. 23).

1.3.2 Thematische Einordnung der Arbeit

1.3.2.1 Eingrenzung des Untersuchungsbereichs

Neben der eigentlichen Planung von Montagesystemen besitzt die behandelte Thematik Schnittstellen zum Produktionsmanagement, zum Operations Research sowie zur Produktionsergonomie und besetzt damit die klassischen Domänen des Industrial Engineering (SINK ET AL. 2001), welche „die Gestaltung, Inbetriebnahme und Verbesserung von aus Menschen, Material, Informationen, Betriebsmitteln und Energie bestehenden integrierten Systemen“ umfasst (WOMACK & JONES 1996).

Aufbauend auf bestehenden Konzepten zur planungsbegleitenden Bewertung der ergonomischen Güte projektierter Montagesysteme nutzt der vorgestellte Ansatz Methoden der Personalplanung während der Montageplanung. Für eine Zuordnung von Mitarbeitern zu Arbeitsplätzen werden Zuordnungsalgorithmen aus dem Operations Research² adaptiert und mithilfe der gewonnenen Erkenntnisse Anpassungsbedarfe innerhalb der geplanten Systemalternativen identifiziert. Durch Bereitstellung kosteneffizienter Adaptationsmaßnahmen unter Anwendung von Profilvergleichssystemen orientiert sich die entwickelte Methodik schließlich an den Zielsetzungen der präventiven Ergonomie, indem arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse bereits in den Planungsprozess integriert werden. Der Fokus der Methodik liegt auf der Identifikation von Anpassungsbedarfen auf Montagesystemebene sowie der Bereitstellung von kompensatorischen Maßnahmen während des

² NEUMANN & MORLOCK (2004, S. 5) charakterisieren Operations Research als die Suche nach einer bestmöglichen Entscheidung, bei der Nebenbedingungen berücksichtigt werden.

Montageplanungsprozesses. Die detaillierte Auslegung dieser Maßnahmen zur praktischen Umsetzung an einem bestimmten Arbeitsplatz ist nicht Inhalt der Arbeit. Abbildung 2 ordnet die Teilgebiete der entwickelten Methodik in die Domänen des Industrial Engineerings ein.

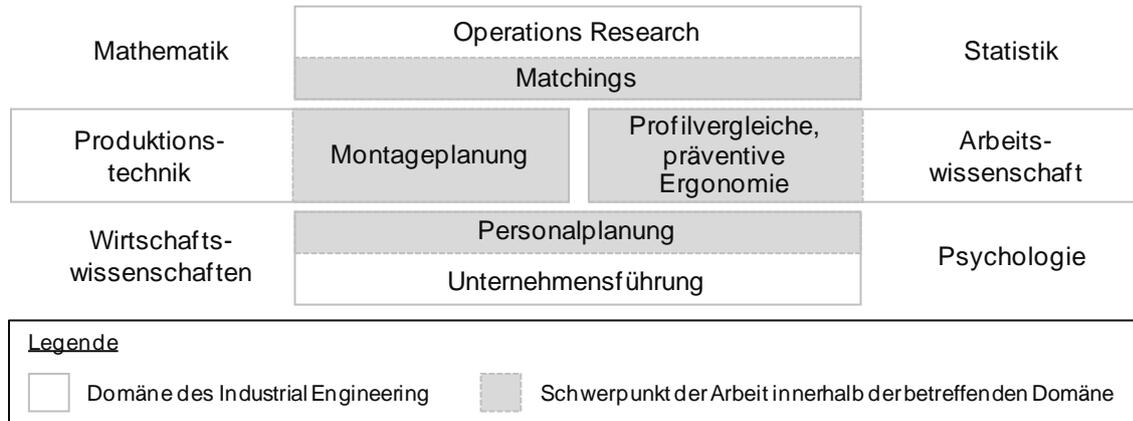


Abbildung 2: Eingrenzung des Untersuchungsbereiches anhand der Domänen des Industrial Engineerings (nach SINK ET AL. 2001)

Anhand Abbildung 3 lässt sich die vorliegende Arbeit in das durch BRUDER ET AL. (2008) vorgestellte 4+1-Modul-Konzept zur Berücksichtigung der Ergonomie innerhalb des Produktentstehungsprozesses einordnen. Unter Nutzung durchgängig einsetzbarer Bewertungswerkzeuge und deren Integration in den Planungsprozess erfolgt ein planungsbegleitender Abgleich von Leistungswandlungen und Arbeitsbelastungen mit dem Ziel, geeignete Arbeitsplätze zu identifizieren und notwendige Adaptionen des aktuellen Planungsstandes zu ermöglichen. Die vorliegende Arbeit ist somit unter Eingrenzung auf Leistungswandlungen in das vierte Modul einzuordnen.

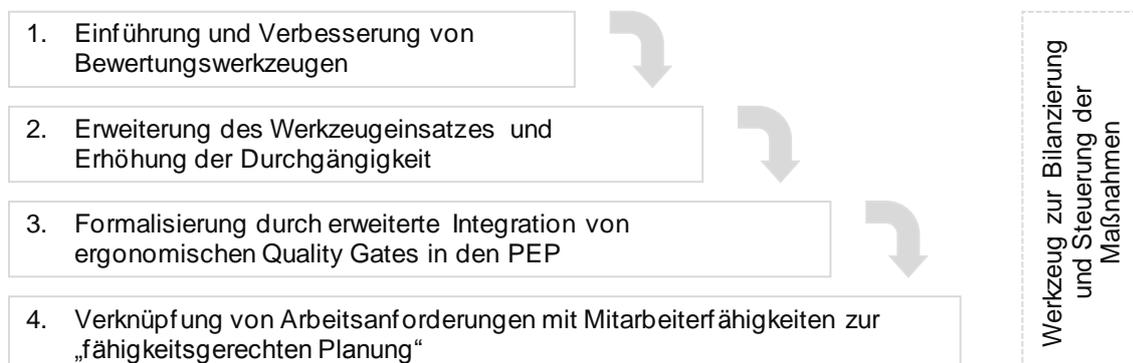


Abbildung 3: 4+1 Module zur Integration der Ergonomie in den Produktentstehungsprozess (nach BRUDER ET AL. 2008; BRUDER ET AL. 2009)

1.3.2.2 Praktische Eignung der Methodik

Geeignete Einsatzbereiche der neuen Methodik können folgendermaßen spezifiziert werden: In kleinen Montagelinien oder -zentren mit einer geringen Anzahl an Mitarbeitern stellt die Berücksichtigung Leistungsgewandelter aufgrund ihres prozentualen Anteils an der Gesamtanzahl einzusetzender Mitarbeiter kein komplexes Planungs-, sondern ein Auslegungsproblem auf Arbeitsplatzebene dar. Mit zunehmender Anzahl an Montagemitarbeitern nehmen die Arbeitsplatzzuordnung und -anpassung Dimensionen an, die mittels einfacher Handlungsanweisungen für einen Montageplaner nicht mehr beherrschbar sind. Gleiches gilt für die parallele Planung mehrerer Montagelinien und -zentren, unter welchen ein Austausch von Mitarbeitern möglich ist. Daher ist der vornehmliche Einsatz der Methodik auf Montagesysteme mit einer großen Anzahl an Mitarbeitern einzugrenzen. Die vorliegende Arbeit nutzt das Instrument der Profilvergleichssysteme, mit welchen sowohl Mitarbeiterfähigkeiten als auch Arbeitsanforderungen mittels einer einheitlichen Systematik bewertet werden können. Der Fokus der Arbeitsplatzbewertungen liegt bei diesen Systemen auf der manuellen Ausführung von Montageprozessen und den einhergehend entstehenden physischen Arbeitsbelastungen. Die Anwendung der Methodik konzentriert sich daher in Anlehnung an die durch BEUCHE (1981) eingeführte Systematisierung auf Montagesysteme, in denen (teil-)manuelle Montageprozesse im Verhältnis zu hochmechanisierten oder automatisierten Prozessausführungen vorherrschen.

Um individuelle Leistungswandlungen in die Planung zu integrieren und so die Wirtschaftlichkeit im Umgang mit vorhandenem Personal und insbesondere Leistungsgewandelten zu erhöhen, richtet sich die Arbeit an Montage- und Arbeitsplaner. Der unternehmensinterne Umgang mit dem demographischen Wandel und seine Herausforderungen stellt eine Querschnittsaufgabe dar: Die Arbeit bietet für Mitarbeiter des Arbeitsschutzes und der Arbeitssicherheit, betriebsärztlichen Diensten, der Produktionsergonomie und nicht zuletzt dem Produktionsmanagement Gelegenheit, die komplexen Zusammenhänge zwischen geeigneter System- und Arbeitsplatzgestaltung und der Einsetzbarkeit einer vorhandenen Belegschaft transparenter zu gestalten. Die dargestellte Methodik soll und kann bestehende Verfahren zur ergonomischen Arbeitsgestaltung nicht ersetzen, sondern ist als Handlungsleitfaden zur Integration spezifischer, nicht durch ergonomische Methoden vollständig abgesicherter Mitarbeiteranforderungen zu sehen.

1.4 Vorgehen

Ausgehend von der Zielsetzung und thematischen Einordnung der Arbeit in Kapitel 1 werden in Kapitel 2 Auswirkungen der zunehmenden Anzahl an leistungsgewandelten Mitarbeitern auf die Montage dargestellt, die Ausgangssituation in verschiedenen montierenden Unternehmen aufgezeigt und der Beitrag in der Unternehmenspraxis eingesetzter Gestaltungsansätze zur Erreichung der Zielsetzung diskutiert.

Wissenschaftliche Vorarbeiten und Methoden zur Planung von Montagesystemen, verfügbare Systematiken für den detaillierten Abgleich von Fähigkeiten und Arbeitsanforderungen sowie Ansätze zur Berücksichtigung individueller Fähigkeiten in der Produktionsplanung werden in Kapitel 3 vorgestellt.

Auf Basis der bisherigen Erkenntnisse werden in Kapitel 4 spezifische Anforderungen an die zu entwickelnde Methodik abgeleitet, der grundlegende Ansatz konzipiert und die Problemstellung formalisiert.

In Kapitel 5 werden relevante Einflussfaktoren auf die in der Konzeption aufgezeigten Methodenschritte vorgestellt und deren Berücksichtigung innerhalb der Methodik erläutert. Für jeden einzelnen Methodenschritt wird das Vorgehen im Detail vorgestellt.

Die entwickelten Einzelschritte werden im Anschluss in Kapitel 6 anhand einer exemplarischen Problemstellung angewendet und die erreichten Ergebnisse anhand den zuvor gestellten Anforderungen an die Methodik reflektiert.

In Kapitel 7 wird die Arbeit mit einer Zusammenfassung und einem Ausblick auf zukünftige wissenschaftliche Weiterentwicklungen abgeschlossen.

Abbildung 4 zeigt im Überblick die Inhalte und Ergebnisse der einzelnen Kapitel.

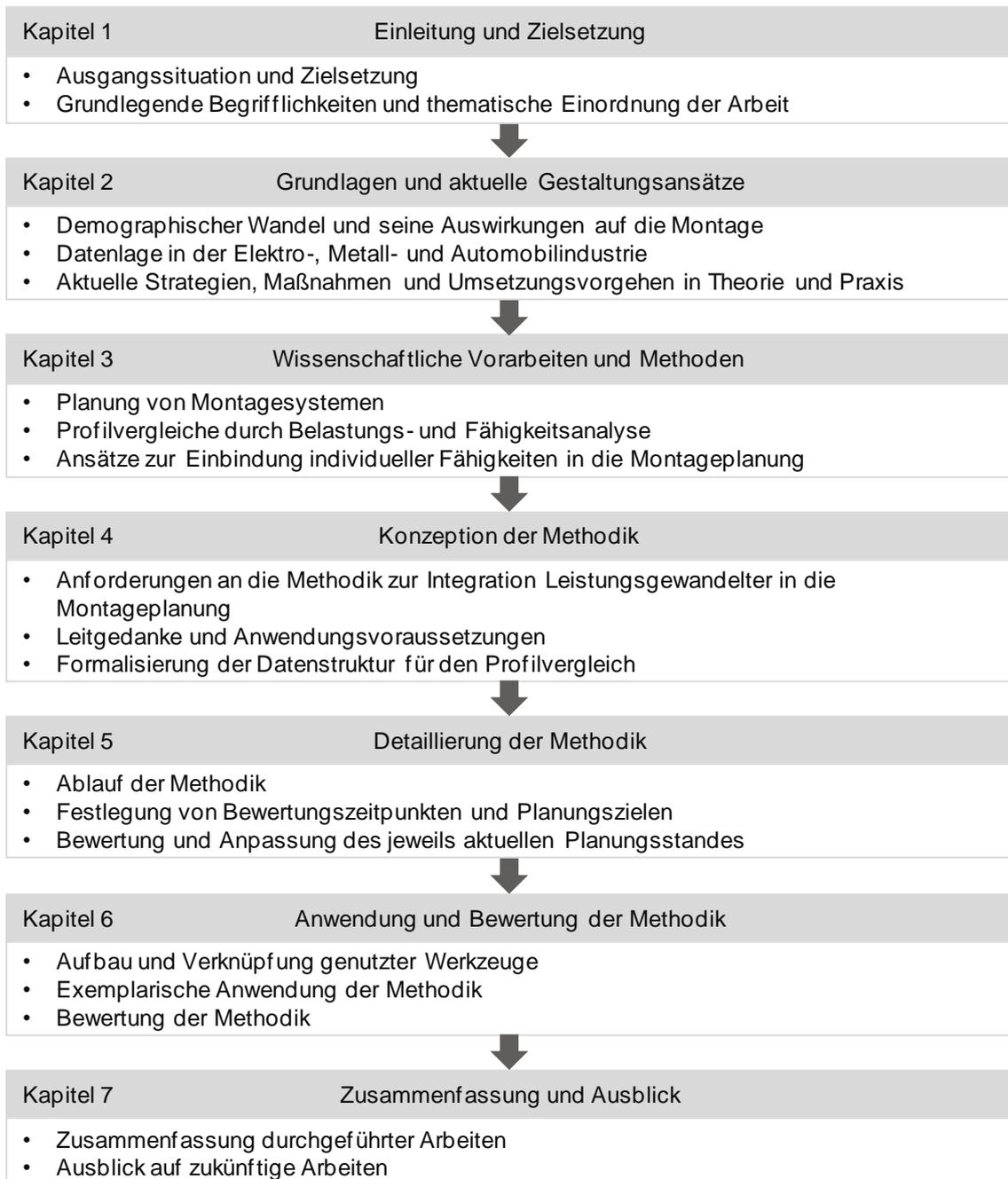


Abbildung 4: Aufbau und Vorgehensweise der Arbeit

2 Grundlagen und aktuelle Gestaltungsansätze

2.1 Demographischer Wandel

Die stetige Verknappung der arbeitsfähigen Bevölkerung entsteht durch eine steigende Lebenserwartung und gleichzeitig sinkende Geburtenzahlen, die auch durch positive Zuwanderungssalden nicht ausgeglichen werden können (STATISTISCHES BUNDESAMT 2009). Zusätzlich steigt der Altersmedian der deutschen Bevölkerung bis zum Jahr 2040 von ehemals 35 Jahren in 1950 auf 51 Jahre an. Nur Japan wird mit einem Altersmedian von 54 Jahren eine ältere Bevölkerung aufweisen, während der Altersmedian der USA in 2040 mit 41 Jahren um zehn Jahre niedriger liegen wird (Abbildung 5).

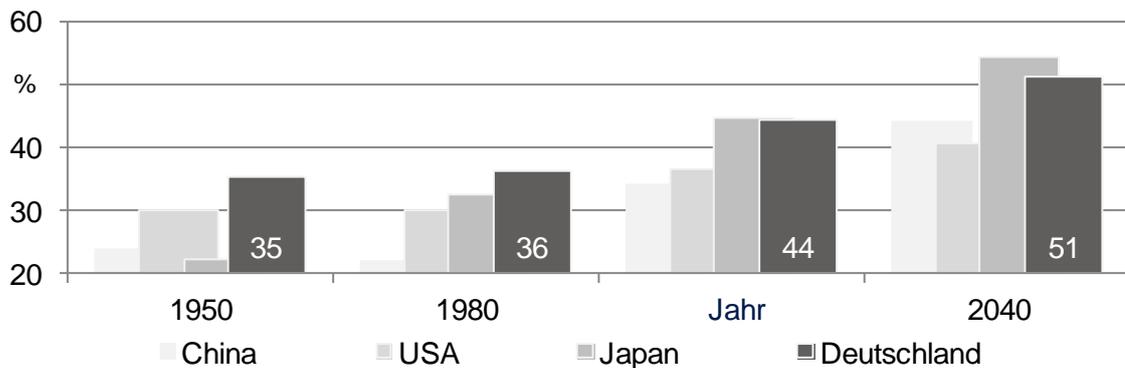


Abbildung 5: Altersmedian der Gesamtbevölkerung (nach UNPD 2009)

Die Verfügbarkeit der Ressource Personal nimmt für die deutsche Produktion aufgrund des demographischen Wandels ab (DELLER & KOLB 2010): Bis zum Jahr 2040 werden nur noch 56 % der Bevölkerung Deutschlands im arbeitsfähigen Alter zwischen 15 und 64 Jahren sein, während dieser Anteil im Jahr 2010 noch bei 66 % lag. Nur im Vergleich zu der am stärksten durch den demographischen Wandel betroffenen Industrienation Japan ist der Anteil der arbeitsfähigen Bevölkerung relativ hoch: Sowohl in den USA als auch in China werden Renten- und Sozialsysteme im Jahr 2040 weniger belastet, da der Anteil der arbeitsfähigen Bevölkerung bei 62 % (USA) bzw. bei 66 % (China) liegt. Ein innereuropäischer Vergleich zeigt, dass in Deutschland trotz dieser Zahlen noch nicht hinreichend auf die demographische Entwicklung reagiert wurde: die Erwerbstätigenquote der 55- bis 64-jährigen liegt mit 48,5 % deutlich hinter den europäischen Spitzenreitern Norwegen und Schweiz und ebenfalls hinter den USA (N. N. 2008).

Bis zum Jahr 2025 muss sich die Produktion auf eine weitere Herausforderung einstellen: Das bereits beobachtbar zunehmende Durchschnittsalter (Abbildung 6) der Belegschaften wird innerhalb der nächsten 15 Jahre weiterhin stark ansteigen (VEEN & BACKES-GELLNER 2009). Neben der demographischen Entwicklung sind hierfür auch der Beschäftigungsrückgang jüngerer Arbeitnehmer aufgrund von Arbeitsplatzabbau und zurückgehenden Neueinstellungen junger Mitarbeiter verantwortlich (PACK ET AL. 2000, S. 18). Bei steigendem Renteneintrittsalter werden in Zukunft weniger junge und mehr ältere Mitarbeiter in der Produktion zum Einsatz kommen.

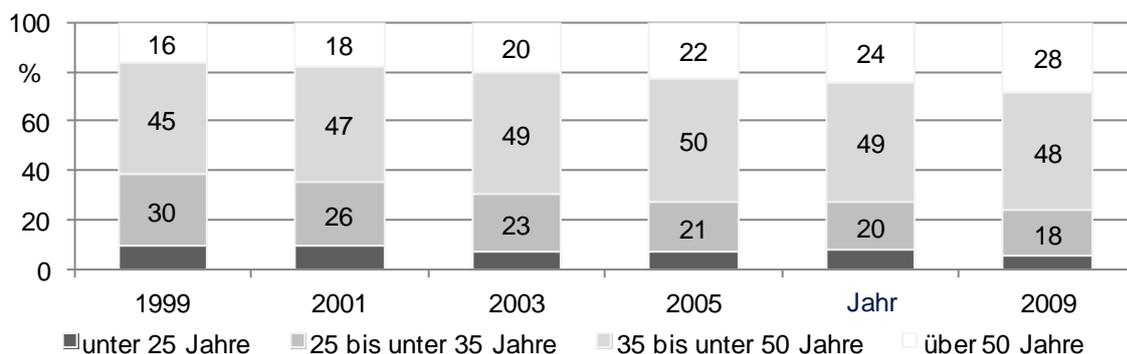


Abbildung 6: Altersgruppenanteile bezogen auf die Gesamtanzahl Beschäftigter in der Berufsgruppe Montierer und Metallberufe (nach IAB 2011)

Eine zusätzliche Herausforderung für Produktion und insbesondere Montage liegt im Zusammenhang zwischen Alter und Krankenstand: die Anzahl an Krankmeldungen geht mit zunehmendem Alter zurück, wohingegen die durchschnittliche Dauer der Krankmeldungen kontinuierlich ansteigt (VETTER 2003; NÖRING ET AL. 2007). In der Montage führt dies zu einem hohen Anteil gesundheitsbedingter Renteneintritte: Gingen im Jahr 2008 22,7 % der insgesamt in Deutschland Erwerbstätigen aus gesundheitlichen Gründen in den Ruhestand, so lag dieser Anteil bei der Berufsgruppe „Montierer/Montiererinnen und Metallberufe“ bei 31,9 % (STATISTISCHES BUNDESAMT 1995; WINGERTER 2010). Ein Schwerpunkt der bei Frühverrentung zugrundeliegenden Beeinträchtigungen liegt bei muskuloskelettalen Erkrankungen (kurz MSE) (LANDAU ET AL. 2008, S. 562): Über 35 % der Arbeitsunfähigkeitstage im produktiven Sektor entfallen auf den Stütz- und Bewegungsapparat (PRASCH 2010, S. 61). Den Zusammenhang zwischen chronischen Krankheiten und Arbeitsproduktivität stellt BAASE (2007) vor: Die Gesamtkosten chronischer Krankheiten an den Personalkosten eines untersuchten Unternehmens lagen bei 10,7 %, der Kostenanteil durch eingeschränkte Arbeitsfähigkeit betrug 6,8 %.

2.2 Auswirkungen des demographischen Wandels auf die Montage

Zur vertiefenden Betrachtung der Ausgangssituation werden im Folgenden montagerelevante Fähigkeiten ermittelt und es wird dargestellt, in welcher Form die Montagesystemgestaltung einen Einfluss auf die Mitarbeiterbelastung hat sowie welche Auswirkungen auf die Produktivität zu erwarten sind. Hierzu ist ein grundlegendes Verständnis des Belastungs-Beanspruchungskonzeptes unabdingbar: Dieses erläutert die Wechselwirkungen zwischen den durch Arbeitsgegenstand, Arbeitsumwelt und Arbeitsmittel induzierten Arbeitsbelastungen und der mitarbeiterindividuell wirkenden Beanspruchung (ROHMERT 1984; SCHMIDTKE & BUBB 1993).

Die Gesamtheit an parallel oder sequentiell auftretenden Teilbelastungen, welche nach Höhe und Dauer beschrieben werden, bildet die Arbeitsbelastung (SCHLICK ET AL. 2010). Mit zunehmendem Lebensalter nehmen die interindividuelle (d. h. zwischen mehreren Individuen) und die intraindividuelle (d. h. innerhalb eines Individuums) Variabilität von Leistung und Kompetenz zu (BALTES & BALTES 1992; ILMARINEN ET AL. 1997, S. 49; KAWAKAMI ET AL. 1999, S. 478; KAWAKAMI ET AL. 2000, S. 527): Ändern sich arbeitsrelevante Fähigkeiten, so verändert sich bei gleichbleibender Belastung entgegengesetzt die Beanspruchung. Entsprechend variiert die nur beschränkt von einzelnen physischen und sensomotorischen Fähigkeiten abhängige Arbeitsfähigkeit (SCHMITZ-SCHERZER ET AL. 1994), die als Ergebnis komplexer Zusammenhänge zwischen menschlichen Ressourcen und der durch mentale, physische und soziale Anforderungen, die Arbeitsumgebung und die Arbeitsorganisation beschriebenen Arbeit anzusehen ist (ILMARINEN 2001, S. 549).

Zusammenhänge zwischen physischen Arbeitsbelastungen und dem Alternsprozess erklärt das in Abbildung 7 dargestellte Modell nach ZWART ET AL. (1996). Kurzfristige physische Beanspruchungen hängen von Haltungen und angewandten Kräften, den aktuellen Arbeitsbedingungen sowie physischen Arbeitsbelastungen und individuellen Entscheidungsfreiräumen ab. Die aus den Beanspruchungen resultierenden langfristigen gesundheitlichen Auswirkungen führen wie das Altern zu einer Änderung des physischen Arbeitsvermögens.³

³ ZWART ET AL. (1996, S. 2) nutzen für das physische Leistungsvermögen den Begriff der „Physical work capacity“, den sie folgendermaßen beschreiben: „[...] physical capacities and characteristics of a worker. Physical capacity is a dynamic measure. Changes may occur in a short-term period, such as changes over

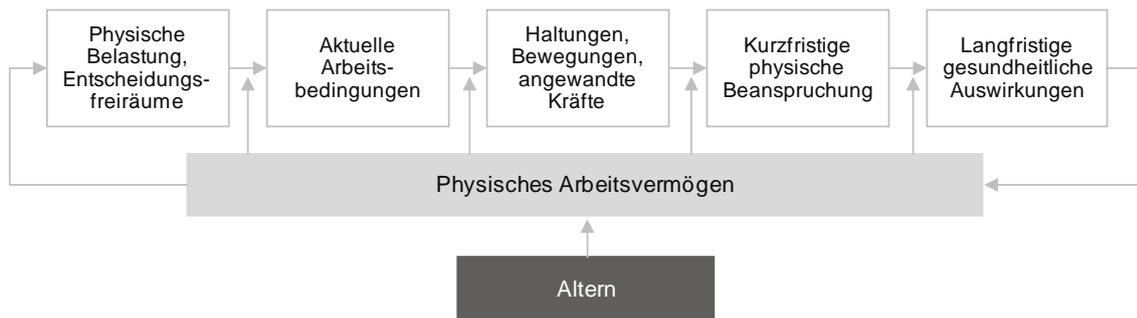


Abbildung 7: Erklärungsmodell der Zusammenhänge zwischen Altern und dem physischen Arbeitsvermögen (nach ZWART ET AL. 1996)

2.2.1 Arbeitsbelastungen in der Montage

Arbeitsbelastungen werden durch ihre Belastungshöhe und -dauer definiert und setzen sich aus unterschiedlichen Teilbelastungen zusammen, die parallel sowie sequentiell auf den Mitarbeiter wirken können (SCHLICK ET AL. 2010, S. 40). Zur Bewertung von Arbeitsbelastungen kann der Arbeitsablauf in Belastungsabschnitte aufgeteilt werden, während derer Belastungshöhe und -typ als konstant angesehen werden (LAURIG 1990).

Abgesehen von Prüftätigkeiten ist Montagearbeit vorwiegend motorisch, im Vergleich zum informatorischen Anteil überwiegt die energetische Arbeit (ROHMERT 1983). Im Allgemeinen werden physiologische Leistungsparameter in der Montage durch einseitige dynamische Muskelarbeit in Verbindung mit sensomotorischen Anforderungen geprägt (SINN-BEHRENDT ET AL. 2011). Als typische Risikofaktoren für MSE in der Montage werden hohe Arbeitsgeschwindigkeiten, hochrepetitive sowie kraftaufwändige manuelle Arbeitsabläufe, kurze Erholzeiten, schweres Heben, unnatürliche Körperhaltungen, Vibrationen, Kombinationen dieser Belastungen sowie weitere psychosozial belastende Arbeitsbedingungen wie etwa eine geringe Arbeitsautonomie angesehen (PUNNETT & WEGMAN 2004, S. 14). Da die Montagegestaltung in Abhängigkeit des zu montierenden Produktes festgelegt wird, sind weitere systemspezifisch zu bewertende Belastungsschwerpunkte vorhanden.

Besonders im Automotive-Bereich stellt die Handhabung von Lasten eine Herausforderung dar (SINN-BEHRENDT ET AL. 2011). Bei großen Produkten und komple-

the day caused by fatigue, as well as in long-term periods, such as increase or decrease in muscle strength in months or years“.

nen Bauteilgeometrien entstehen Zwangshaltungen und hohe Belastungen des Finger-Hand-Unterarmapparates (PRASCH 2010), wohingegen Arbeiten im Knien, in stark gebückter Haltung sowie über Schulter- oder Kopfhöhe bereits teilweise mit entsprechenden technischen Einrichtungen ausgeglichen werden können.

RADEMACHER ET AL. (2010) stellen nach einer Untersuchung körperlicher Fähigkeiten von 73 Werkern eines Fahrzeugherstellers fest, dass nicht nur Extremlastungen, sondern bereits mittlere Lastgewichte und sowie ungünstige statische Körperhaltungen ein Problem für ältere Mitarbeiter darstellen. Bezüglich des Automatisierungsgrades zeigt der Wechsel von manuellen zu semi-automatisierten Montagelinien geringere muskuläre Aktivitäten und größere Möglichkeiten zur muskulären Regeneration. Die Umstellung auf eine vollautomatisierte Montagelinie ermöglicht eine größere Variation unterschiedlicher Belastungen und ist aus Belastungssicht als positiv anzusehen (BALOGH ET AL. 2006, S. 363).

Die Integration indirekter Tätigkeiten wie etwa Materialhandhabungsprozesse, Wartung und Instandhaltung oder Qualitätsmanagement in den Arbeitsablauf wird positiv beurteilt (FREIBOTH ET AL. 1997, S. 369), steht jedoch im Widerspruch zu der aus wirtschaftlichen Gründen geforderten Eliminierung nicht-wertschöpfender Prozesse. So werden in sog. Chaku-Chaku-Montagelinien überflüssige Bewegungen vermieden, Taktzeiten stark verkürzt und Arbeitsplätze mit stehender oder gehender anstatt sitzender Tätigkeitsausführung eingesetzt (SCHIEKIRKA ET AL. 2010).

2.2.2 Montagerrelevante Fähigkeiten im Altersverlauf

Sowohl kognitive als auch physiologische Leistungsparameter unterliegen ab einem Alter von 20 Jahren einer kontinuierlichen Verringerung (SALTHOUSE 2000; BAINES ET AL. 2004, S. 517). Tabelle 1 zeigt eine Klassifizierung wesentlicher Eigenschaften und Fähigkeiten, die für die Ausführung von Montageprozessen notwendig sind.

Zur Beurteilung der Auswirkungen eines steigenden Mitarbeiteralters auf die Arbeitsproduktivität sind jedoch neben altersbedingten Veränderungen des Verlaufs einzelner Leistungsparameter vor allem kompensatorische Wirkbeziehungen zwischen unterschiedlichen für die Produktivität relevanten Funktionen zu beachten: So können beispielsweise mit dem Alter abnehmende physiologische Parameter wie maximale Muskelkräfte oder eine sinkende Sauerstoffaufnahme durch eine höhere Erfahrung kompensiert werden (KAWAKAMI ET AL. 2000, S. 528; BAINES

ET AL. 2004, S. 517). Ebenfalls kann Training die Degression von Muskeln und Funktionen verlangsamen. Fertigkeiten und das Urteilsvermögen liegen durch den Erfahrungsvorsprung etwa über denen jüngerer Mitarbeiter (KAWAKAMI ET AL. 1999, S. 478).

Tabelle 1: Altersbedingte Veränderungen montagerelevanter Eigenschaften und Fähigkeiten (nach PRASCH 2010, S. 33)

Tendenziell abnehmend	Tendenziell gleichbleibend	Tendenziell zunehmend
<ul style="list-style-type: none"> • Maximale statische und dynamische Muskelkraft • Maximale Herz-Kreislauf-Dauerbelastbarkeit • Maximale Bewegungsgeschwindigkeit • Seh-, Hör- und Tastsinn • Wahrnehmungs- und Reaktionsfähigkeit • Kurzzeitgedächtnis • Reaktionsflexibilität • Fluide Intelligenz • Risikobereitschaft 	<ul style="list-style-type: none"> • Mittlere Herz-Kreislauf-Dauerbelastbarkeit • Mittlere Bewegungsgeschwindigkeit • Aufmerksamkeit und Konzentrationsfähigkeit • Vigilanz (Daueraufmerksamkeit) • Kreativität 	<ul style="list-style-type: none"> • Erkennen von Zusammenhängen • Kristalline Intelligenz (erlernte Fähigkeiten) • Problemlösungskompetenz und Urteilskraft • Strategisches Denken und Handeln • Kommunikationsfähigkeit und soziale Kompetenz • Langzeitgedächtnis

Diese Wirkbeziehungen verringern den aufgrund von Einzelparametern zu erwartenden negativen Verlauf der Leistungsfähigkeit (WARR 1994). Einen wesentlichen Einfluss hat zudem die Arbeitstätigkeit (GÖBEL & ZWICK 2009, S. 20). Aussagen zum Zusammenhang zwischen Alter und Arbeitsproduktivität sind daher im Rahmen durchgeführter Tätigkeiten zu beurteilen. Die verallgemeinernde These, alternde Belegschaften führten automatisch zu geringerer Produktivität, ist nicht belegt (SPANNER-ULMER ET AL. 2009). Vielmehr kann ein altersabhängiges Absinken der Leistungsfähigkeit auch als Resultat einer mangelnden Passung zwischen individuellen Fähigkeiten und den Anforderungen des Arbeitsplatzes begründet sein (RIX 1990, S. 68).

2.2.3 Implikationen für Montagesystemgestaltung und -betrieb

Ein Arbeitssystem beschreibt das Zusammenwirken von Mensch(en) und Arbeitsmitteln im Arbeitsablauf, um die Arbeitsaufgabe am Arbeitsplatz im Arbeitsraum unter den vorgegebenen Bedingungen zu erfüllen. Nach DIN EN ISO 6385 (2004) sind bereits während der Gestaltung eines Arbeitssystems arbeitswissenschaftliche Grundsätze anzuwenden, um „schädigende Auswirkungen auf Gesundheit, Wohl-

befinden und Sicherheit des Arbeitenden“ zu vermeiden. Ein wesentlicher Einflussfaktor auf entstehende Belastungen ist die Montageorganisationsform:⁴ Bei der Umstellung von paralleler zu serieller Montagegestaltung werden etwa eine geringere zeitliche Werkerautonomie beobachtet (FREDRIKSSON ET AL. 2001, S. 42). Zudem bereiten bei geringen Taktzeiten hochrepetitive Tätigkeiten in Linienstrukturen Probleme, da ältere Mitarbeiter zunehmende Anpassungsschwierigkeiten an eine vorgegebene Arbeitsgeschwindigkeit vom Fließband haben (KAWAKAMI ET AL. 1999, S. 478). Diese erhöhen sich einhergehend zur Betriebsdauer des Montagesystems, da Rationalisierungen in vielen Fällen zu einer Arbeitsverdichtung führen (WINKEL & NEUMANN 2005, S. 7; FRIELING ET AL. 2011). Eng getaktete Montagesysteme verursachen zudem Zeitdruck und eine geringe werkerseitige Zeitautonomie (BAO ET AL. 1997, S. 84; PRASCH 2010). Andererseits bieten Serienmontagen die Möglichkeit, durch Integration von Handhabungsgeräten Lastenmanipulationen zu verringern, Systemstillstände als Erholpausen zu nutzen und Gruppenarbeit einzuführen (WINKEL & NEUMANN 2005, S. 7).

Zur Erreichung volumenflexibler Montagesysteme gilt zudem die ergonomische Arbeitsplatzgestaltung und die einfache Änderbarkeit von einer manuellen zu einer automatisierten Prozessdurchführung als notwendige Vorbedingung (CONSIGLIO ET AL. 2007). Alternative Montagekonzepte sind im Vergleich zu Fließmontagesystemen kompetenzförderlich, bedürfen jedoch ebenso einer höheren Planungskompetenz. Ein Nachteil alternativer Konzepte ist die geringere Vereinbarkeit von sowohl automatisierten als auch manuell auszuführenden Montageprozessen (JONSSON ET AL. 2004, S. 768 f.).

2.2.4 Implikationen für Arbeitsorganisation und Produktivität

Eine Systemgestaltung unter Verwendung von Gruppenarbeit und der Parallelisierung von Arbeitsstationen kann zu einer Verbesserung von Produktivität und Ergonomie führen (NEUMANN ET AL. 2006, S. 918). In der Praxis beeinflusst vor allem das Alter von Montagemitarbeitern die Wahl des Arbeitsplatzes und damit die erfahrene Belastungsexposition: ältere Werker ab 45 Jahren werden bevorzugt an Arbeitsplätzen eingesetzt, die als gering belastend eingeschätzt werden, während jüngere Mitarbeiter tendenziell eher höher belastende Arbeitsplätze einnehmen

⁴ Umfassende Darstellungen typischer Arbeitsbelastungen in Abhängigkeit der Montageorganisationsform finden sich bei KEMPE & REIF (1996), TÄUBERT & REIF (1997, S. 59 ff.) oder PRASCH (2010, S. 65 ff.).

(LANDAU 2007A; LANDAU ET AL. 2008, S. 569). Dies geht einher mit der epidemiologischen Erkenntnis, dass Mitarbeiter mit muskuloskelettalen Erkrankungen, die auf belastende Arbeitstätigkeiten zurückführbar sind, entweder auf Arbeitsplätze mit geringer belastenden Tätigkeiten wechseln oder ihre Arbeitsfähigkeit vollständig einbüßen (PUNNETT & WEGMAN 2004, S. 17).

In Bereichen mit Routineaufgaben, zu denen die Montage gehört, kann sich eine steigende Altersheterogenität tendenziell negativ auf die Produktivität auswirken (VEEN & BACKES-GELLNER 2009): BÖRSCH-SUPAN & WEISS (2008) nutzen zur Produktivitätsmessung in einer getakteten Montagelinie für Lastkraftwagen die gewichtete Fehlersumme, welche sich aus Fehleranzahl und -schwere zusammensetzt. Mitarbeiter unter 30 Jahren weisen die höchste Produktivität, in dieser Untersuchung also die geringste Fehlersumme auf. Ältere Mitarbeiter hingegen erbringen eine geringere, aber über den Altersverlauf weitgehend gleiche Produktivität. Zudem wirkt sich die Beschäftigungsdauer positiv auf die Produktivität aus. Ältere Mitarbeiter zeigen in dieser Untersuchung im Vergleich zu Jüngeren eine höhere Fehlerhäufigkeit, wohingegen die Fehlerschwere Älterer geringer ist.

2.3 Datenlage zu LGW in produzierenden Unternehmen

Mit zunehmendem Alter steigt die Wahrscheinlichkeit abnehmender arbeitsplatzspezifischer Arbeitsfähigkeit (PRASCH 2010, S. 34) und damit die Entstehung von Leistungswandlungen. Im Folgenden wird die Datenlage zu leistungsgewandelten Mitarbeitern in der Produktion von zwei untersuchten Unternehmen der Metall- und Elektroindustrie vorgestellt und erläutert. Im Anschluss wird vergleichend die Situation in der deutschen Automobilindustrie analysiert.

2.3.1 Status Quo in der Elektroindustrie

Unternehmen 1 stellt am untersuchten Produktionsstandort mit 1.500 Mitarbeitern Elektrogeräte für den Konsumgütermarkt her. Die Produktion umfasst die Bauteilfertigung, Montage, Verpackung und den Warenversand. Die Gesamtbelegschaft zeigt 2009 bei einem Durchschnittsalter von 42,4 Jahren eine nahezu achsensymmetrische, komprimierte Altersstruktur (Abbildung 8).

Zur Klassifikation der auftretenden Leistungswandlungen wird eine interne Erhebungsmethodik eingesetzt, deren Kriterien auf häufig vorkommende Arbeitsplatz-

belastungen angepasst sind. Der Anteil Leistungsgewandelter an der Gesamtbelegschaft beträgt 5 %, dies entspricht 75 Mitarbeitern. Der prozentuale Anteil Leistungsgewandelter je Altersklasse zeigt sich stark altersabhängig: die Mitarbeitergruppe der unter 51jährigen weist mit bis zu 5 % einen geringen Anteil Leistungsgewandelter auf, während dieser in der Altersgruppe der über 50jährigen auf bis zu 13 % ansteigt (vgl. REINHART & EGBERS 2012).

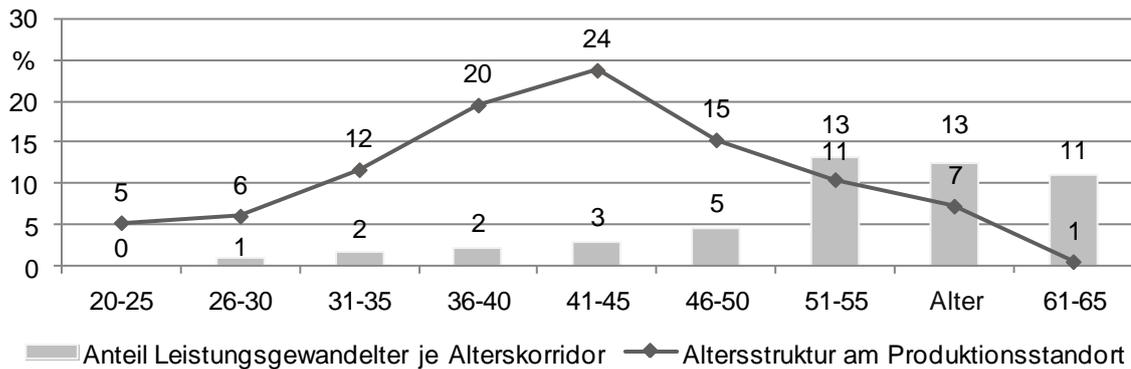


Abbildung 8: Altersstruktur und Anteil Leistungsgewandelter einer Produktionsbelegschaft der Elektroindustrie im Jahr 2009

Kausalitäten zwischen dem abnehmenden Anteil der Leistungsgewandelten ab einem Alter von 55 Jahren und betrieblichen Personalplanungs- oder Arbeitsplatzstrukturen sind mit der erhobenen Datenbasis nicht feststellbar. Vielmehr ist anzunehmen, dass der Healthy Worker Effect für den abnehmenden Anteil Leistungsgewandelter in den Altersgruppen ab 55 Jahren mitverantwortlich ist. Dieser beschreibt das Phänomen, dass Beschäftigte ein geringeres Erkrankungsrisiko als Nichtbeschäftigte aufweisen, da Selektionsmechanismen wie beispielsweise das frühzeitige erkrankungsbedingte Ausscheiden von Mitarbeitern auftreten (WEN ET AL. 1983; LI & SUNG 1999).

Unter Annahme eines gleichbleibenden Anteils leistungsgewandelter Mitarbeiter je Altersklasse und der Bevölkerungsprognose des statistischen Bundesamtes (Variante 1-W1 in EISENMENGER ET AL. 2006) wird die Anzahl an leistungsgewandelten Mitarbeitern bis zum Jahr 2019 um 15 % zunehmen, während das Durchschnittsalter der Belegschaft auf 47,7 Jahre ansteigen wird (vgl. REINHART ET AL. 2010A; REINHART & EGBERS 2012). Mit 17 % der insgesamt auftretenden Leistungswandlungen stellt das Kriterium „Regelmäßige Haltungswechsel, Materialgewichte unter 8 kg, kein Bücken“ die größte Häufigkeit dar, gefolgt von der Notwendigkeit überwiegend sitzender Haltungen und der Schonung von Schulter und Oberarm (Abbildung 9).

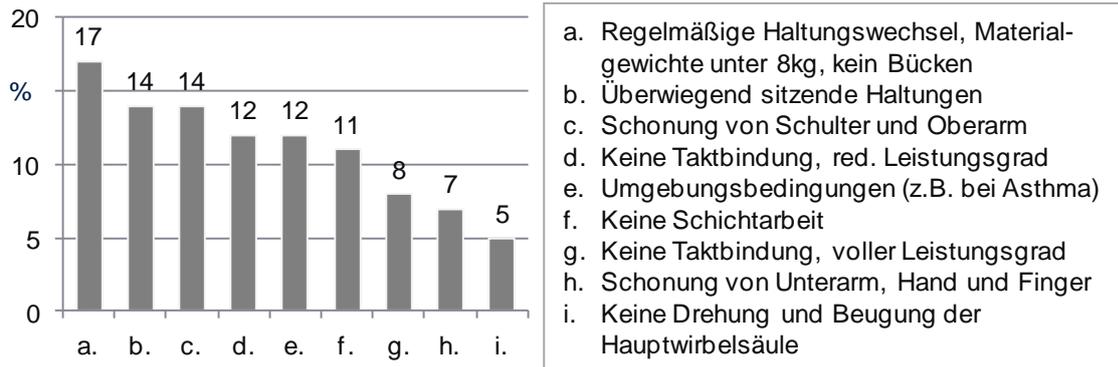


Abbildung 9: Art und Anteil von Leistungswandlungen einer Produktionsbelegschaft der Elektroindustrie

Bei 6 % der Leistungsgewandelten wurde eine Leistungswandlung durch den Betriebsarzt festgestellt, 27 % sind von zwei Leistungswandlungen betroffen, 6 % von drei Leistungswandlungen und 2 % von vier Leistungswandlungen (Abbildung 10 links). 52 % der leistungsgewandelten Mitarbeiter kommen in Unternehmen 1 in der Montage zum Einsatz, 26 % in der Ersatzteilverpackung, 20 % in der internen Logistik und 2 % in der Lackiererei (Abbildung 10 rechts).

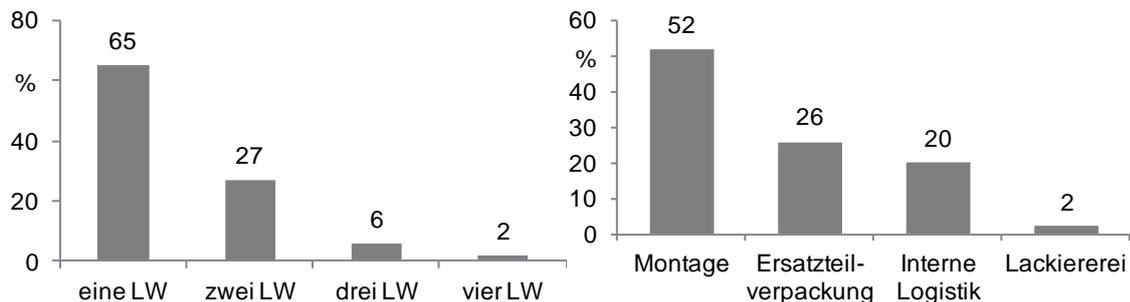


Abbildung 10: Akkumulation von Leistungswandlungen und Einsatzorte Leistungsgewandelter einer Produktionsbelegschaft der Elektroindustrie

Aktuelle Maßnahmen im konkreten Umgang mit betroffenen Mitarbeitern umfassen die Ausweisung und Einrichtung von Schonarbeitsplätzen, Arbeitsplatzadaptionen durch gezielte Belastungsverringerungen sowie den Transfer von Mitarbeitern in weitere direkte Unternehmensbereiche mit entsprechend geringeren Arbeitsanforderungen. Eine gezielte Planung geeigneter Arbeitsplätze für LGW findet nicht statt. Bestehende Arbeitsplätze werden derzeit reaktiv, also nach Erstinbetriebnahme, an die spezifischen Anforderungen leistungsgewandelter Mitarbeiter angepasst.

2.3.2 Status Quo in der Metallindustrie

Unternehmen 2 stellt am untersuchten Standort mit 780 Produktionsmitarbeitern Elektrokleingeräte sowohl für den gewerblichen als auch für den Konsumgütermarkt her. Die Produktion umfasst die Bauteilfertigung, Montage, Verpackung und den Warenversand. Das Durchschnittsalter der gewerblichen Belegschaft lag im Jahr 2008 bei 43 Jahren.

Der Anteil an Leistungswandlungen je Altersklasse zeigt eine starke Beziehung zum Lebensalter der Beschäftigten: entfallen auf die Altersklasse der unter 24jährigen 2 % der erhobenen Leistungswandlungen, so liegt dieser Anteil in der Gruppe der über 55jährigen bei 45 % (Abbildung 11).

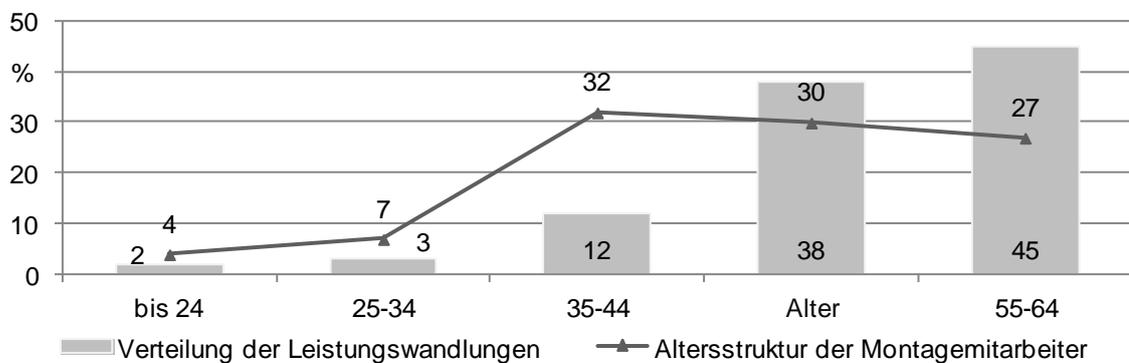


Abbildung 11: Altersstruktur und Verteilung der Leistungswandlungen einer Produktionsbelegschaft der Metallindustrie im Jahr 2008

Als reversibel werden in Unternehmen 2 Leistungswandlungen eingestuft, wenn eine betriebsärztliche Kontrolluntersuchung sechs Monate nach Diagnose eine vollständige Einsatzbarkeit des Mitarbeiters bzgl. des erhobenen Kriteriums zeigt. Mit zunehmendem Mitarbeiteralter steigt der Anteil irreversibler Leistungswandlungen auf bis zu 75 % in der Altersgruppe der 55-64jährigen. Der Anteil irreversibler Leistungswandlungen an der Gesamtanzahl der diagnostizierten Leistungswandlungen beträgt 56 %. Die Analyse des Zusammenhangs zwischen Art der Leistungswandlung und Reversibilität zeigt zudem, dass über alle Leistungswandlungsgruppen hinweg zwischen 35 % und 60 % der Leistungswandlungen als reversibel eingestuft werden (Abbildung 12).

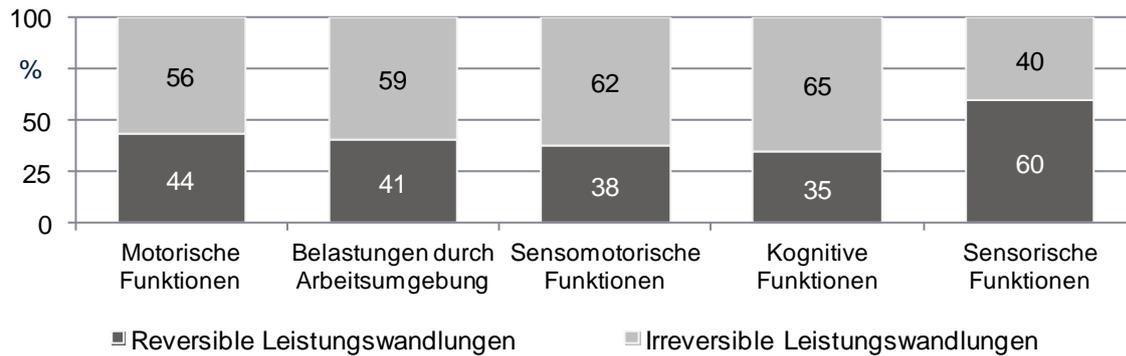


Abbildung 12: Reversibilität nach Art der Leistungswandlung einer Produktionsbelegschaft der Metallindustrie

Mit einem Gesamtanteil von 66 % stellen motorische Leistungswandlungen den größten Anteil, gefolgt von Belastungen durch die Arbeitsumgebung (14 %), sensomotorischen Funktionen (12 %), kognitiven Funktionen (6 %) und sensorischen Funktionen (1 %) (Abbildung 13).

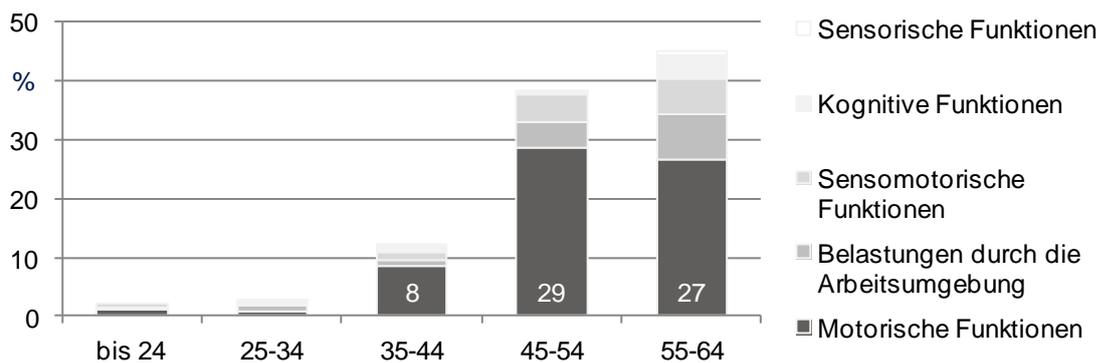


Abbildung 13: Verteilung von Leistungswandlungen nach Altersklasse und Art der Leistungswandlung einer Produktionsbelegschaft der Metallindustrie

Wie in Unternehmen 1 umfassen aktuelle Maßnahmen die Nutzung von Schonarbeitsplätzen und den Mitarbeiterereinsatz in Unternehmensbereichen mit geringeren Arbeitsanforderungen. Bei der Montageplanung werden auf Arbeitsplatzebene ergonomische Erkenntnisse in hohem Umfang genutzt und gezielt gering belastende Arbeitsprozesse durch technische oder organisatorische Gestaltungsansätze umgesetzt. Ein weitreichendes in den Unternehmensprozessen verankertes Programm zur Wiedereingliederung Leistungsgewandelter ergänzt diese Maßnahmen. Spezielle Arbeitsplätze für leistungsgewandelte Mitarbeiter werden jedoch nicht systematisch geplant.

2.3.3 Status Quo in der Automobil- und Zulieferindustrie

Die Auswirkungen des demographischen Wandels auf das Durchschnittsalter und die Leistungswandlungsstruktur produzierender Unternehmen zeigen sich analog in der Automobilindustrie: Das für das Jahr 2018 prognostizierte Durchschnittsalter einer Pilotmontage zum Management des demographischen Wandels von Unternehmen 3 beträgt 45 Jahre, ausgehend von 38 Jahren im Jahr 2008. Analog wird eine Zunahme der Anzahl Leistungsgewandelter über die Produktlaufzeit des Pilotprojektes um mehr als 50 % erwartet (BOGUS & DORN 2009).

Das Durchschnittsalter von Unternehmen 4 steigt von 41,4 Jahren in 2008 auf voraussichtlich 46,4 Jahre in 2018, ebenso steigt die Anzahl Leistungsgewandelter je Alterskohorte mit zunehmendem Lebensalter (MAUERMANN 2010). In der Kabelbaummontage eines Montagewerkes besitzen von ca. 350 Mitarbeitern etwa 50 Mitarbeiter (entsprechend 14,3 %) den Status eines Leistungsgewandelten.⁵ Diese Beschäftigten werden zum Großteil an einem leistungsadäquaten Arbeitsplatz eingesetzt. Durch eine zukünftig verlängerte Beschäftigungsdauer über das 60. Lebensjahr hinaus und durch den zunehmenden Anteil älterer Mitarbeiter wird im untersuchten Arbeitssystem eine Abnahme der Einsatzflexibilität erwartet (STANIĆ 2010).

Das Durchschnittsalter der Beschäftigten von Unternehmen 5 steigt von 42,2 Jahren im Jahr 2008 auf voraussichtlich 47,1 Jahre im Jahr 2018 (KRÜGER 2008). Laut BECK (2008) entfallen in einem Produktionswerk von Unternehmen 6 85 % aller Leistungswandlungen auf körperliche Einsatzeinschränkungen, 7 % auf umgebungsbedingte Einschränkungen und 3 % auf sensorische Einschränkungen. Unter den 5 % organisationsbedingten Einschränkungen entfällt etwa die Hälfte auf eine eingeschränkte Einsetzbarkeit an Arbeitsplätzen mit starrer Taktbindung.

Eine Untersuchung der Fähigkeitseinschränkungen von Montagemitarbeitern bei einem Automobilzulieferer (Unternehmen 7) zeigt zudem eine signifikante Differenz bei der Handhabung von Lasten im Vergleich von zwei Gruppen im Alter von 20-35 Jahren bzw. von 45-63 Jahren: Jüngere Mitarbeiter zeigen geringe Fähigkeitseinschränkungen als Ältere. Zudem wird gezeigt, dass ältere Mitarbeiter bei bestimmten Arbeitshaltungen geringere physische Fähigkeiten aufweisen. Insgesamt

⁵ Die Auswertung von Daten des Gesundheitswesens im entsprechenden Werk geht von einem durchschnittlichen Anteil von 15% leistungsgewandelter Mitarbeiter aus (STANIĆ 2010, S. 15).

samt werden in dieser Studie bis zu 20 unterschiedliche für die Bewältigung physischer Arbeitsbelastungen notwendige Fähigkeiten erhoben und in eine fünfstufige ordinale Skala überführt (SINN-BEHRENDT ET AL. 2011).

2.4 Aktuelle Ansätze im Umgang mit leistungsgewandelten Mitarbeitern

Um der geschilderten Ausgangssituation zu begegnen und die Produktion der Zukunft auch für ältere und leistungsgewandelte Mitarbeiter geeignet zu gestalten, werden unternehmensweit koordinierte Programme, auf einzelne Produktionsbereiche fokussierte Umgestaltungsprojekte als auch singuläre Maßnahmen auf Arbeitsplatzebene eingesetzt. Die Trennung zwischen ergonomischen Verbesserungen, präventiven und integrativen Maßnahmen für Leistungsgewandelte, zwischen Maßnahmen zur Steigerung der Alternsgerechtigkeit und allgemeinen Verbesserungen der Arbeitsbedingungen sind in der Praxis selten eindeutig möglich: Viele Einzelmaßnahmen sind mehreren Handlungsfeldern zurechenbar.

2.4.1 Makro- und mikroergonomische Strategien

Hinsichtlich der Eingriffsbereiche können makroergonomische (d. h. auf die Arbeitsorganisation bezogene) und mikroergonomische (d. h. arbeitsgestalterische) Strategien unterschieden werden (LUCZAK & STEMANN 2008). Im Bereich der makroergonomischen Strategien benennen LUCZAK & STEMANN (2008) fünf Eingriffsmöglichkeiten.⁶ Ziel der unternehmensinternen Sensibilisierung ist die Verankerung des demographischen Wandels in den Köpfen der Mitarbeiter. Eingesetzte Hilfsmittel umfassen neben der Altersstrukturanalyse und -prognose die Neuorientierung der Personalpolitik im Hinblick auf alternde Belegschaften.⁷

Zur Förderung eines systematischen generationenübergreifenden Know-how-Transfers werden in Verbindung mit flachen Hierarchien und kurzen Informationswegen altersgemischte Arbeitsgruppen empfohlen (LUCZAK & STEMANN

⁶ SCHLICK ET AL. (2010, S. 133 f.) stellen Gestaltungs- und Interventionsstrategien zusammenfassend dar.

⁷ Zur Altersstrukturanalyse und -prognose vgl. BUCK & DWORSCHAK (2003, S. 33 f.), LANGHOFF (2009, S. 59 ff.) oder SZYMANSKI ET AL. (2009). Detaillierte Darstellungen zur demographieorientierten Personalpolitik finden sich bei BUCK ET AL. (2002, S. 66 ff.), BUCK & SCHLETZ (2004) und MORSCHHÄUSER ET AL. (2005).

2008).⁸ Zur Ermöglichung einer lebensphasenorientierten Laufbahnplanung empfehlen LUCZAK & STEMANN (2008) einen Abgleich des Qualifikationsniveaus der Mitarbeiter mit den zukünftigen Arbeitsanforderungen (vgl. SCHRADER ET AL. 1995, S. 13 ff.), um Personalentwicklungspläne ableiten zu können.

Ziel der Weiterbildung ist die Erweiterung des Aufgabenspektrums älterer Mitarbeiter, um bei auftretender Leistungswandlung eine wertschöpfende Beschäftigung an gegebenenfalls anderen Arbeitsplätzen zu erreichen. Für die gewünschte Ergänzung von Qualifikationen zwischen älteren und jüngeren Mitarbeitern ist zu beachten, dass ältere Mitarbeiter in der Praxis an weniger Arbeitsplätzen zum Einsatz kommen, da sie Job Rotation-Zyklen mit einer geringeren Anzahl an Arbeitsplätzen bevorzugen (GAUDART 2000; FRIELING ET AL. 2008). Job Rotation bezeichnet den systematischen Wechsel von Arbeitsplätzen innerhalb eines Arbeitssystems mit dem Ziel, Mitarbeiterqualifikationen zu erweitern und die Einsatzflexibilität zu erhöhen sowie hohe Belastungsexpositionen durch Einsatz an gering- oder andersbelastenden Arbeitsplätzen auszugleichen (BHADURY & RADOVISLKY 2006). Zudem ist bei der Abschätzung der Wirksamkeit altersdifferenzierter Weiterbildungsstrategien in der industriellen Montage zu berücksichtigen, dass vornehmlich moderate Qualifikationsanforderungen vorherrschen (PRASCH 2010, S. 75).

Unter dem Aspekt betrieblicher Gesundheitsförderung fassen LUCZAK & STEMANN (2008) weitere organisationale Maßnahmen zusammen: Age Management als Teil des Diversity Managements⁹ umfasst Bestrebungen zur Etablierung einer Unternehmenskultur, die dem demographischen Wandel und älteren Mitarbeitern einen hohen Stellenwert einräumt (BMFSFJ 2008, S. 39). Ziel des Age Managements ist die Flexibilisierung von Beschäftigungsmöglichkeiten älterer Mitarbeiter, um den zeitlichen und räumlichen Arbeitseinsatz auf die Erreichung einer höchstmöglichen individuellen Produktivität ausrichten zu können (KOCKA & STAUDINGER 2009, S. 54). Wichtigster Bestandteil des Age Managements im Bezug auf Leistungsgewandelte ist das seit dem Jahr 2004 gesetzlich vorgeschriebene Betriebliche Eingliederungsmanagement (kurz BEM gemäß § 84 SGB IX). Dieses

⁸ Für den durchgängigen Einsatz altersgemischter Arbeitsgruppen in der Montage sind weitere Forschungsarbeiten notwendig, da in einer empirischen Studie in der Fließmontage im Vergleich zu altershomogenen Arbeitsgruppen eine signifikante Erhöhung der Fehlerrate identifiziert werden konnte (BÖRSCH-SUPAN ET AL. 2007, S. 82).

⁹ Das Diversity Managements nutzt Vorteile, die Vielfalt und Heterogenität innerhalb der Beschäftigten bieten und zielt ab auf die aktive Beeinflussung der Unternehmenskultur (BMFSFJ 2008, S. 39).

verpflichtet den Arbeitgeber zur strukturierten Überprüfung von Wiedereingliederungsmaßnahmen für Mitarbeiter mit einer Arbeitsunfähigkeitsdauer von mehr als sechs Wochen innerhalb eines Jahres (MEHRHOFF 2007). Praxisbeispiele zeigen die Durchdringung des BEM-Gedankens in produzierenden Unternehmen (vgl. FUNKE 2007; KNÜLLE 2007; BECK 2008; FRANKE 2008; SZYMANSKI ET AL. 2011).

Im Bereich der Mikroergonomie benennen LUCZAK & STEMANN (2008) fünf Gestaltungs- und Interventionsstrategien bei alternden Belegschaften: Als Kompensation werden Anpassungen des Arbeitsplatzes und der Arbeitsumgebung unter Beachtung altersabhängiger Veränderungen bezeichnet. Ist eine Kompensation nicht möglich, bietet die Selektion durch Zuweisung des Mitarbeiters an einen bestimmten Arbeitsplatz mit geeignetem Belastungsprofil weitere Einsatzmöglichkeiten. Eine Adaption verringert Altersbarrieren, indem beispielsweise Aufgabenanforderungen und Mitarbeiterfähigkeiten abgeglichen werden. Im Rahmen der Prävention werden Sicherheits- und Gesundheitskonzepte erstellt, um eine sichere Arbeitsumgebung zu schaffen und organisatorische Maßnahmen und Verhaltensänderungen anzustoßen. Zudem werden Ziele in Bezug auf Gesundheit und moralische Verantwortung vereinbart, um den Gesundheitsschutz in operative Geschäftsprozesse zu integrieren.

2.4.2 Maßnahmen für Fertigung und Montage

Allgemein umfassen Maßnahmen zur Beschäftigung leistungsgewandelter Mitarbeiter die stufenweise Wiedereingliederung, die Suche nach einem leistungsadäquaten Arbeitsplatz, die Arbeitsplatzbegehung, die Umgestaltung von Arbeitsplätzen, die Planung spezieller neuer Arbeitsplätze, Qualifizierungsmaßnahmen, Rückkehrgespräche sowie die Kombination genannter Maßnahmen (SCHMAL ET AL. 2001). Zur Reduktion physischer Belastungen in der Produktion bieten neben makroergonomischen Maßnahmen mit Fokus auf die Organisation vor allem mikroergonomische individuelle Maßnahmen für den einzelnen Werker die größten Erfolgchancen (WESTGAARD & WINKEL 2011, S. 262).

Für eine nachhaltige Beschäftigung Leistungsgewandelter werden vornehmlich ergonomische und arbeitsorganisatorische Gestaltungsansätze als geeignet angesehen (SCHLICK ET AL. 2010, S. 151). Zur Reaktion auf Abweichungen zwischen Mitarbeiterfähigkeiten und Arbeitsplatzanforderungen ist die ergonomische Arbeitsplatzgestaltung dem spezifischen Mitarbeitertraining vorzuziehen, da auch nach Weggang des Mitarbeiters ein gut gestalteter Arbeitsplatz zurückbleibt

(LANDAU 2007A). Im Folgenden sollen daher technische, strukturelle und arbeitsorganisatorische Maßnahmen zur Anpassung von Arbeit und der Arbeitsumgebung an leistungsgewandelte Mitarbeiter vorgestellt werden.

Gruppenarbeitskonzepte sind zur Beschäftigung Leistungsgewandelter geeignet, da diese mit einer Flexibilisierung der Arbeitsorganisation einhergehen. Die Flexibilisierung ermöglicht größere Handlungsspielräume bei der Zuweisung von Arbeitsaufgaben und der individuellen Gestaltung des Arbeitsablaufs (KALKSTEIN 1996; SPORKET 2009).

TÄUBERT & REIF (1997, S. 107 ff.) leiten aus physiologischen Anforderungsprofilen älterer Arbeitnehmer Gestaltungsmerkmale für vornehmlich einfache Arbeitsplatzeinrichtungen in der Montage ab. Für die Auswahl von Arbeitstischen und Werkbänken, Ausrüstungsgegenständen, Arbeitssitzen, Einrichtungen zur Lastenmanipulation sowie Körperteilaufgaben und -stützen werden detaillierte Hinweise zu wichtigen Gestaltungselementen gegeben und Regeln für eine altersgerechte Arbeitsgestaltung aufgestellt.

Zur aufwandsarmen Individualisierung können Werkeridentifikationssysteme eingesetzt werden, die durch Übertragung der gespeicherten Mitarbeiterfähigkeiten von einem Transpondermedium an die Arbeitsplatzeinrichtung beispielsweise die Arbeitshöhe automatisch an den sich im Einsatz befindenden Mitarbeiter anpassen (REINHART ET AL. 2010B, S. 665 f.). Digitale Werkerassistenzsysteme ermöglichen zusätzlich die Adaption von Montageanweisungen an den aktuellen Produktstatus, indem auf Basis von Zustandsgraphen eine situationsabhängige Visualisierung erreicht wird (REINHART ET AL. 2009B).

Um eine Entlastung des Mitarbeiters von engen Arbeitstakten zu ermöglichen, können zudem nachrüstbare Assistenzroboter zum Einsatz kommen, die sich bei Kollisionen mit dem Mitarbeiter nachgiebig verhalten und daher ohne Schutzgitter auskommen (REINHART ET AL. 2010B, S. 666 ff.). Für die Entlastung des Montagemitarbeiters bei Handhabung und Fügen schwerer Bauteile kommen zudem Systeme zur direkten Interaktion von Mensch und Roboter als Handhabungshilfe zum Einsatz (REINHART ET AL. 2008; REINHART & SPILLNER 2010).

PRASCH (2010) stellt neben den im Folgenden erläuterten Maßnahmenbereichen ein Vorgehen für die betriebliche Umsetzung vor. Der Maßnahmenbereich der Manipulatoren und Handhabungshilfsmittel dient der Entlastung von physisch fordernden Handhabungsprozessen. Diese Maßnahmen sind sowohl präventiv durch

Belastungsreduktion als auch integrativ zur gezielten Kompensation bereits bestehender Leistungswandlungen anwendbar. Ziel im Bereich von Haltungsoptimierung und -unterstützung ist die Verringerung statischer Körperhaltungen an ortsfesten Montagearbeitsplätzen. Durch die ganzheitliche Anpassung von Arbeitsplatzeinrichtungen unter Verwendung von Stehhilfen oder Mitfahrstützsystemen, höhen- und neigungsverstellbaren Basis- und Verkettungseinrichtungen sowie verstellbaren Arbeitsplatzelementen unter gleichzeitiger Verwendung von marktüblichen Standardsystemen können wiederum Belastungen reduziert und Leistungsgewandelte integriert werden. Der Maßnahmenbereich mit den weitgehendsten Auswirkungen auf die Montagesystemstruktur betrifft die Flexibilisierung der Leistungserbringung. Die Integration und Duplizierung von Arbeitsvorgängen am Beginn oder am Ende einer Montagelinie, die Einrichtung von Parallelarbeitsplätzen neben dem Hauptfluss der Linie oder eine Erhöhung von Montagelosgrößen mit Abkehr von einem reinen One-piece-flow sind hier als Beispiele zu nennen.

In die Produktionspraxis umgesetzte Maßnahmen lassen sich vornehmlich in der Automobilindustrie finden. Bei der Umgestaltung von Montage- und Fertigungsarbeitsplätzen werden Steh-Sitz-Hilfen, individuelle Arbeitshöhen, Belastungswechsel zwischen sitzender und stehender Tätigkeitsausübung, Vermeidung ungünstiger Körperhaltungen, Entkopplung von Arbeitsplätzen vom Fließbetrieb, die Einrichtung von Modulvormontagen, höhenverstellbare Schubplatten für schwere Bauteile, Schwenkmontagen mit einem Werkermitfahrband und Montagestühle eingesetzt (KALTENBRUNNER 2006; PFOSER 2008; PIEPER 2010B). Weitere Publikationen zeigen, dass immer mehr Unternehmen bereit sind, konkrete Maßnahmen zur Wieder- und Weiterbeschäftigung leistungsgewandelter Mitarbeiter umzusetzen (vgl. MÜLLER ET AL. 2007; MATTHÄI & MORSCHHÄUSER 2009). Gelingt jedoch keine Integration Leistungsgewandelter, sind zudem Berufsunfähigkeit, Erwerbsunfähigkeit und Frühverrentung als alternative Maßnahmen anzusehen (FRIEDRICH 1986).

2.4.3 Vorgehen zur reaktiven Adaption von Arbeitsstrukturen

Abbildung 14 verdeutlicht zusammenfassend das aktuelle Vorgehen bei der reaktiven Adaption von Arbeitssystemen und Arbeitssystemelementen: Getrieben von globalen Adaptionauslösern wie etwa der Einrichtung eines BEM oder der Einführung eines unternehmensweiten Demographiemanagements wird die Altersstruktur auf Standort- oder Bereichsebene analysiert.

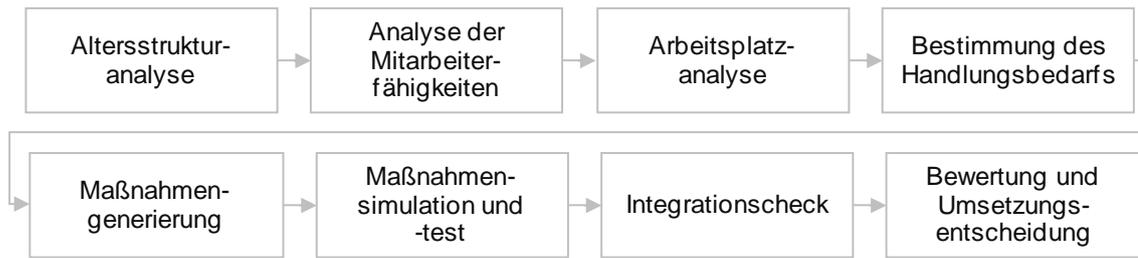


Abbildung 14: *Reaktive Adaption von Arbeitsstrukturen an die Anforderungen Leistungsgewandelter (nach ZÄH & PRASCH 2007, S. 62)*

Die anschließende Analyse der Mitarbeiterfähigkeiten und Arbeitsplatzanforderungen bildet die Basis für die Bestimmung des Handlungsbedarfes. Nach dieser Spezifizierung werden Maßnahmen generiert, simuliert und getestet sowie die Maßnahmenintegrierbarkeit in bestehende Montagesysteme überprüft. Nach einer abschließenden Bewertung erfolgt die Umsetzungsentscheidung.

2.5 Zusammenfassende Darstellung der Problemstellung

Das steigende Durchschnittsalter der Montagebelegschaften, die zunehmende Differenzierung von Mitarbeiterfähigkeiten und die steigende Anzahl an leistungsgewandelten Mitarbeitern stellen neue Herausforderungen für die industrielle Montage dar. Um eine größere Anzahl an leistungsgewandelten Arbeitnehmern wertschöpfend in der Montage zu beschäftigen und einen effizienten und wirtschaftlichen Personaleinsatz zu gewährleisten, ist das Integrationspotenzial von Versetzungen (PRASCH 2010, S. 73) und die korrektive Anpassung der Arbeitsbedingungen nicht ausreichend. Leistungsgewandelte Mitarbeiter können auch an ergonomisch gut gestalteten Arbeitsplätzen nicht zwangsläufig zum Einsatz kommen (COLOMBINI & OCCHIPINTI 2006, S. 449). Wirtschaftliche Überlegungen widersprechen jedoch einer behinderten- oder leistungswandlungsgerechten Arbeitsgestaltung aller Arbeitsplätze (SCHRADER ET AL. 1995, S. 28). Andererseits zeigt eine Vielzahl an Beispielen, dass die Integration von Ergonomie in die Produktionsplanung zu Kosteneinsparungen führen kann (LANDAU 2002; LOOZE ET AL. 2010), indem etwa an prospektiv gering belastend gestalteten Arbeitsplätzen eine deutlich geringe Fehlerhäufigkeit und Fehlerschwere erreicht wird (FALCK ET AL. 2010, S. 35).

Vorhandene und neue Produktionsarbeitsplätze müssen somit stärker im Hinblick auf den einzusetzenden Mitarbeiter im Allgemeinen und leistungsgewandelte Mitarbeiter im Speziellen ausgerichtet werden (COLOMBINI & OCCHIPINTI 2006;

ALAVINIA ET AL. 2009, S. 56; REINHART ET AL. 2010A; STANIĆ 2010, S. 215). Eine fähigkeitsdifferenzierte Gestaltung ist hierfür notwendig, da nur bei erfolgreichem Matching von individuellen Fähigkeiten und Arbeitsplatzanforderungen eine hohe Arbeitsleistung zu erwarten ist (RHODES 1983). Für Leistungsgewandelte gilt zudem, dass ein erfolgreiches Matching Voraussetzung für den Einsatz an Montagearbeitsplätzen ist. Langfristiges Ziel eines produzierenden Unternehmens muss also die Überwindung von Einsatzbarrieren sein, um eine wirtschaftlich sinnvolle (Weiter-) Beschäftigung älterer und leistungsgewandelter Mitarbeiter unter Erhaltung der körperlichen Leistungsfähigkeit und anhaltender Produktivität in der Montage zu gewährleisten (GRIFFITHS 1997, S. 208).

Für unterschiedliche Leistungswandlungen steht eine Vielzahl von Maßnahmen zur Verfügung, welche generischen Charakter besitzen und daher unabhängig von montiertem Produkt und dem Montageszenario umsetzbar erscheinen. Hierfür ist lediglich die technische und organisatorische Integrierbarkeit in neuen Montageumgebungen zu prüfen. Im Anschluss sind vorhandene Maßnahmen fallspezifisch anzupassen.

Um jedoch vor Auftreten von Einsatzhemmnissen die richtigen Maßnahmen nach Art und Anzahl ergreifen zu können, ist eine Berücksichtigung der Fähigkeiten Leistungsgewandelter und entsprechender Maßnahmen schon während des Montageplanungsprozesses notwendig. Es stellen sich vornehmlich die Fragen nach der Auswahl und der Gestaltung geeigneter Arbeitsplätze für Leistungsgewandelte bereits in der Planungsphase eines Montagesystems.

Das bisherige Integrationsvorgehen findet Anwendung bei der personenbezogenen Umgestaltung der Arbeitsbedingungen auf Ebene einzelner Arbeitsplätze. Eine Betrachtung auf Gesamtsystemebene, welche systematisch ohne oder nur durch geringe Umgestaltungen geeignete Arbeitsplätze für leistungsgewandelte Mitarbeiter identifiziert, ist mit den bisher vorgestellten Instrumenten nicht möglich. Im folgenden Kapitel werden daher Ansätze zur Planung von Montagesystemen und aktuelle Möglichkeiten zur Berücksichtigung von Leistungswandlungen und Fähigkeitsdifferenzen in der Montageplanung vorgestellt.

3 Wissenschaftliche Vorarbeiten und Methoden

3.1 Planung von Montagesystemen

Das prinzipielle Vorgehen der Planung von Montagesystemen gliedert sich in vier Phasen. Zunächst werden Rahmendaten des zukünftigen Systems analysiert und Planungsziele festgelegt. Im Anschluss wird das Montagesystem konzipiert, der Montageablauf geplant und das System entworfen. Nach dieser grundlegenden Festlegung des Montagekonzeptes folgen die Feinplanung und Ausarbeitung. Den Montageplanungsprozess abschließend wird das Montagesystem implementiert und in Betrieb genommen (Abbildung 15).



Abbildung 15: Ablauf und Kerneergebnisse der Montageplanung

Das übergeordnete Ziel der Montageplanung besteht im Entwurf von Montagesystemen und -abläufen, der Gestaltung des Zusammenwirkens der einzelnen Systemelemente und der Sicherstellung von deren Verträglichkeit (BULLINGER & GOMMEL 1995, S. 85; MOTUS 2009, S. 14). Die Montageplanung umfasst alle bis zum Serienanlauf planmäßig durchgeführten Dienstleistungen, deren Ergebnisse Einfluss auf die Montage haben (SCHNEPF 1995, S. 27). Sie stellt neben der Fertigungs- und Materialplanung ein Teilgebiet der als Arbeits- oder Prozessplanung benannten auftragsunabhängig zu bearbeitenden Planungsaufgaben der Arbeitsvorbereitung dar (SPUR & KRAUSE 1997; EVERSHEIM 2002).

Für jede Planungsphase werden im Folgenden die aus wirtschaftlich-technischer Sicht notwendigen Planungstätigkeiten zur Erreichung des jeweiligen Phasenziels dargestellt. Anschließend werden die im Rahmen bestehender Montageplanungsverfahren vorhandenen Möglichkeiten zur Einbindung personalorientierter Gestaltungsaspekte dargestellt und diskutiert.

3.1.1 Analyse und Zieldefinition

Wesentliches Ergebnis der ersten Phase einer Montageplanung ist das Zielsystem oder Pflichtenheft des Montageplanungsprojektes (PATRON 2005, S. 7). Dieses dient neben der Festschreibung zu erreichender Zielsetzungen auch der planungsbegleitenden Bewertung von Alternativkonzepten und dem abschließenden Projektcontrolling. Hierfür sind zunächst Eingangsinformationen zu sammeln und zu strukturieren (PATRON 2005, S. 7). Analyseschwerpunkte stellen vorhandene Betriebsmittel und Technikkomponenten, produktbezogene Informationen wie etwa geplante Stückzahlverläufe, Bauteile und ihre Geometrien sowie verwendete Fügearten dar. Bezüglich der Mitarbeiter sind die Anzahl, die Entlohnung, die Qualifikation, Fluktuationsraten & Fehlzeiten sowie Tätigkeitsbeschreibungen aufzuführen. Sind die Zielkriterien des Planungsprojektes ermittelt, werden im Anschluss Teilziele gewichtet, um Prioritäten festzulegen. Neben inhaltlichen Aspekten besteht die wesentliche Aufgabe der ersten Planungsphase in der Projektorganisation, durch welche ein geeignetes Projektmanagement und der Projektablauf festgelegt werden (BOKRANZ & LANDAU 2006).

Relevante Ziele der Montageplanung sind die Reduktion von Kosten und die Erhöhung der Prozessqualität, die Reduktion von Durchlaufzeiten, die Erhöhung von Mengen- und Variantenflexibilität und die Erhöhung von Liefertreue und Produktqualität (WILDEMANN 2010, S. 317). Personelle Teilziele bestehen in der Senkung von Fluktuationsrate und Krankenstand, einem flexiblen Mitarbeitereinsatz, der Schaffung von Möglichkeiten zur Höherqualifizierung und zur Leistungsmotivation (BULLINGER & AMMER 1986, S. 59; BOKRANZ & LANDAU 2006, S. 90).

Nach GROB & HAFFNER (1982) lassen sich dem Globalziel „Schaffen eines wirtschaftlichen und menschengerechten Arbeitssystems“ monetär quantifizierbare und monetär nicht quantifizierbare Ziele zuordnen. Zu den monetär quantifizierbaren Zielen zählen während des Montagesystembetriebs die Gemeinkosten, Lohnkosten, Fehlerbeseitigungskosten, geringe Bestände und kurze Durchlaufzeiten. Nicht monetär quantifizierbare Zielgrößen sind die Erhöhung von Varianten- und Stückzahlflexibilität, die Reduzierung der Wegzeiten, Leistungsmotivation von Mitarbeitern und eine ergonomische Arbeitsplatzgestaltung (Abbildung 16). Die Zielhierarchie wird aufbauend auf einer Schwachstellenanalyse ermittelt. Mögliche Zielkriterien werden zunächst nach inhaltlichen Zielaspekten sowie im Anschluss nach ihrer Quantifizierbarkeit gegliedert.

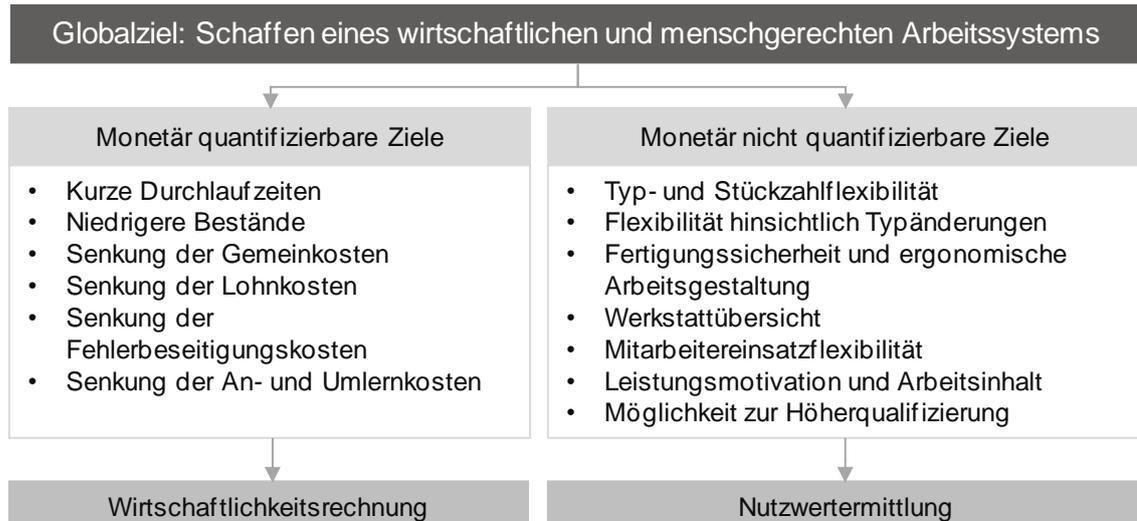


Abbildung 16: Zielhierarchie der Montagesystemplanung (nach GROB & HAFFNER 1982, S. 45)

3.1.2 Konzeption, Ablaufplanung und Systementwurf

Im Anschluss an die Festschreibung der zu erreichenden Zielsetzungen erfolgen die Grobkonzeption des zukünftigen Montagesystems, die Planung von Montageabläufen sowie die Erstellung alternativer Systementwürfe. Übergeordnetes Ziel dieser Planungsphase ist die Erarbeitung einer geeigneten Anordnung der Montageanlage in Bezug auf den Werkstückfluss und die Materialbereitstellung unter gleichzeitiger Beachtung personalbedingter Forderungen (LOTTER 1992, S. 376 ff.). Die Teilung der benötigten Montagekapazität, die Zusammenfassung von Arbeitsinhalten und die Generierung und Auswahl des Montagelayouts werden durch Zielsystemelemente beeinflusst, die teilweise konkurrierend sind (PATRON 2005, S. 8). Dies gilt insbesondere für personalorientierte Kriterien. Die im Rahmen des Systementwurfs weitgehende Festlegung der Kostenstruktur im späteren Systembetrieb (GANS 2009, S. 2) und die schrittweise Eingrenzung des Lösungsraums durch Auswahl einer Planungsalternative verdeutlichen zudem die hohe Relevanz dieser Planungsphase.

Da die Montageplanung durch die Generierung und Weiterverarbeitung zahlreicher Informationen gekennzeichnet ist, müssen für eine effiziente Planung benötigte Daten sinnvoll strukturiert werden, um sie wirtschaftlich verwalten zu können. So stellen die Stückliste und der Arbeits- bzw. Montageplan zentrale Dokumente der Montageplanung dar (RUDOLF 2007, S. 20). Nach REFA (1993B, S. 45) wird die Stückliste als ein für den jeweiligen Zweck vollständiges, formal aufge-

bautes Verzeichnis für einen Gegenstand definiert, das alle zugehörigen Gegenstände unter der Angabe von Bezeichnung, Sachnummer, Menge und Einheit enthält. Im Arbeitsplan wird die Montageaufgabe in Folgen von Arbeitsvorgängen dokumentiert, die sequentiell, parallel oder alternativ sein können. Für die Erstellung des Arbeitsplans und die Strukturierung der Montageabläufe werden zunächst die gewonnenen Produktdaten in einen Montagevorranggraph überführt. Dieser stellt eine Zusammenfassung der einzelnen Baugruppen und der auszuführenden Prozesse für das zu montierende Produkt dar. Die im Vorranggraph aufgenommenen Teilprozesse werden anschließend hinsichtlich ihrer Automatisierbarkeit bewertet und mit Vorgabezeiten für zu erwartende Prozessausführungsdauern versehen, um im nächsten Schritt die benötigte Montagekapazität zu strukturieren. Diese teilt den Gesamtkapazitätsbedarf in einzelne Teileinheiten, die jeweils von einem Mitarbeiter an einem Arbeitsplatz gedeckt werden können (BULLINGER & AMMER 1986; S. 126). Somit werden im Anschluss an die Kapazitätsteilung einzelne Teilprozesse zu gesamthaften Arbeitsinhalten zusammengefasst und damit ebenfalls Betriebsmittelanforderungen festgelegt (JONAS 2000, S. 16). Diese bestehen in der Montage nach der zurückgezogenen VDI 2815 (1978) aus Ver- und Entsorgungsanlagen, Fertigungs-, Meß-, Prüf-, Förder- und Lagermitteln.

Abschließend werden Systementwürfe und zugehörige Layoutalternativen generiert. Das Montagelayout beschreibt die räumliche Anordnung der Montageeinrichtungen (HUCK 1990, S. 17). Zu diesem Zweck werden technische, organisatorische und räumliche Komponenten des Montagesystems entworfen, die hinsichtlich Nutzwert und Wirtschaftlichkeit untersucht, bewertet und ausgewählt werden (BULLINGER & AMMER 1986, S. 148). Zur Ermittlung wirtschaftlicher Kenngrößen werden vornehmlich Kostenvergleichsrechnungen, Stückkostenkalkulationen sowie Kapitalwert- und Amortisationsrechnungsverfahren eingesetzt (HARTEL & LOTTER 2006).

Personalorientierte Kriterien werden in Form von Fragebögen oder Verfahren zur Arbeitsbewertung berücksichtigt, die parallel zur Bearbeitung der eigentlichen Planungsaufgabe anzuwenden sind. Aufgrund der schwierigen Quantifizierbarkeit personenbezogener Ziele kommt zur Bewertung auf Systemebene u. a. die analytische Arbeitssystemwertermittlung zum Einsatz. Jede Systemalternative wird mit Vergabe ordinalskaliertener Punktwerte hinsichtlich der Erfüllung personalorientierter Kriterien bewertet. Durch Aufsummierung gewichteter Einzelwerte wird anschließend der aggregierte Arbeitssystemwert ermittelt, der neben wirtschaftlichen Kriterien in die Auswahlentscheidung einfließt (BULLINGER & AMMER 1986, S. 195 ff.).

3.1.3 Feinplanung und Ausarbeitung

Ziel dieser Phase ist die Zusammenstellung ausgewählter Betriebsmittel und weiterer Komponenten zu Montagestationen, die Detaillierung des Montageablaufs, die Arbeitsplatzauslegung und die Planungsabsicherung. Zudem werden die für die Ausführung der Montage notwendigen Arbeitsunterlagen und Montageprogramme erstellt. Nicht wertschöpfende Tätigkeiten werden aus Arbeitsabläufen eliminiert, um eine hohe Wirtschaftlichkeit zu erreichen (PATRON 2005, S. 8 f.).

Der Schwerpunkt von Feinplanung und Ausarbeitung manueller oder hybrider Montageanlagen ist die detaillierte Spezifizierung einzurichtender Arbeitssystemelemente. Teilaufgaben bestehen in der Ausarbeitung organisatorischer und technischer Gestaltungselemente, der Layoutplanung auf Arbeitsplatzebene und der Arbeitsplatzbewertung (BULLINGER & AMMER 1986, S. 250 ff.). Der personalseitige Schwerpunkt von Montageplanungsmethoden liegt somit auf einer geeigneten arbeitsphysiologischen und anthropometrischen Arbeitsplatzgestaltung. Durch diese werden beispielsweise Seh- und Greifräume, Körper(teil)unterstützungen und Einrichtungen zur Lastenhandhabung festgelegt.¹⁰ Weitere Gestaltungselemente betreffen die sicherheitsgerechte sowie die bewegungs- und informationstechnische Arbeitsgestaltung (BOKRANZ & LANDAU 2006).

3.1.4 Implementierung und Betrieb

Ziel der Systemimplementierung ist die Umsetzung vorheriger Planungsergebnisse in die Realität, indem die Beschaffung der benötigten Betriebsmittel veranlasst und der Anlagenaufbau durchgeführt wird (REFA 1993B, S. 111 ff.; JONAS 2000, S. 20). Im Anschluss wird der Montageanlauf betreut, das Montagesystem kontinuierlich optimiert und das System an geänderte Rahmenbedingungen angepasst. Personalseitig sind vor Betriebsbeginn der Personaleinsatz zu planen und im Bedarfsfall Personalqualifizierungsmaßnahmen zu ergreifen.

¹⁰ Als Anthropometrie wird die „Lehre von den Maßen, Maßverhältnissen und der Messung des menschlichen Körpers“ bezeichnet (SCHLICK ET AL. 2010, S. 1028). Inhalt der Arbeitsphysiologie ist der „Bau und die Funktion des menschlichen Körpers und seiner Organsysteme mit dem Ziel, eine seinen Fähigkeiten entsprechenden Umgebung zu schaffen“ (SCHLICK ET AL. 2010, S. 22).

3.1.5 Ansätze für spezifische Planungsaufgaben

Die Vielfalt an Planungsaufgaben führt seit Anfang der 1990er Jahre zu thematisch zunehmend fokussierten Ansätzen, welche die seit Mitte der 1980er Jahre formulierten ganzheitlichen Planungsmethoden ergänzen. Anhand der im Folgenden vorgestellten Beispielansätze sollen jüngere Trends aus der Entwicklung von Methoden zur Montageplanung vorgestellt werden.

Eine durchgängige rechnergestützte Montageplanung wird ermöglicht, indem ein von weiteren Planungssystemen unabhängiges Datenmodell eingesetzt wird, das über standardisierte Schnittstellen eine Anbindung an verschiedene Planungssystematiken herstellt. Vorrangiges Ziel ist die Parallelisierung von Montageprozessen unter unsicherer Informationslage (JONAS 2000). Eine Methodik für die Einführung, den Einsatz und die Weiterentwicklung flexibler integrierter Produktentwicklungs- und Montageplanungsprozesse stellt GRUNWALD (2002) vor, um Abhängigkeiten zwischen dem zu entwickelnden Produkt, resultierenden Montagevorgängen und zu planender Montageanlage beherrschen zu können. Für Planungsanforderungen der Automobilindustrie besteht ein Konzept zur wissensbasierten Montageplanung in der digitalen Fabrik. Ausgehend von der These, dass zukünftige Planungen Lösungen aus einem Bibliotheksbestand von Standardelementen konfigurieren, ermöglicht das Tool GenPlanner die projektübergreifende Nutzung des generierten Planungswissens (RUDOLF 2007). Zur Modellierung von Referenzprozessen der Montageplanung kommen Metamodelle auf Basis ereignisgesteuerter Prozessketten zum Einsatz (FUSCH 2005). MOTUS (2009) stellt ein Referenzprozessmodell für die Montageplanung vor, das aus Produktkonstruktion, Prozessplanung, Prozessabsicherung und Management besteht. Für die Auswahl geeigneter Flexibilisierungsstrategien in der Endmontage von Automobilen entwickelt ROSCHER (2008) einen Bewertungsansatz, der Lernkurven- und Optimierungseffekte in die Montagebetriebskosten integriert und auf diese Weise Aussagen zur Vorteilhaftigkeit von produktflexiblen Montagelinien ermöglicht. Zur Verringerung von Planungsrisiken in den frühen Phasen der Endmontageplanung der durch zunehmende Produktvarianten geprägten Automobilindustrie wird durch WEYAND (2010) eine Ressourcenplanung für wichtige Produktvarianten durchgeführt, die von speziellen Prozess- und Ressourcengraphen unterstützt wird.

3.2 Profilvergleich durch Belastungs- und Fähigkeitsanalyse

3.2.1 Belastungsanalyse

Die arbeitswissenschaftliche Beurteilung von Arbeitsbedingungen folgt HACKER (1986), welcher die Ausführbarkeit, Schädigungslosigkeit, Beeinträchtigungsfreiheit und Persönlichkeitsförderlichkeit von Arbeitsbedingungen unterscheidet. Allgemein müssen Änderungen und Anpassungen eingesetzter Belastungsanalyseverfahren umfangreich bewertet werden, da neben dem Analyseergebnis der Zeitbedarf zur Datenerhebung, der Detaillierungsgrad von Eingangsdaten, die benötigte Anwenderkompetenz und die Nutzbarkeit der Ergebnisse für unterschiedliche Informationsempfänger beeinflusst werden (BERLIN ET AL. 2009, S. 945).

Für die Erhebung von Arbeitsbelastungen und die Bewertung von Arbeitssystemen in der Montage werden Belastungs- und Risikoanalyseverfahren eingesetzt, die je nach Fokus Körperhaltungen, Grenzlasten, Grenzkkräfte oder weitere Belastungsfaktoren ermitteln.¹¹ Der Schwerpunkt in der Montage liegt auf der Erhebung medizinisch-physiologischer Belastungsfaktoren, während für subjektive und psychologische Kriterien eigens entwickelte Verfahren zum Einsatz kommen (DIN EN ISO 6385 (2004)). Das Vorgehen zur Einstufung von Arbeitsbelastungen kann Abbildung 17 entnommen werden.

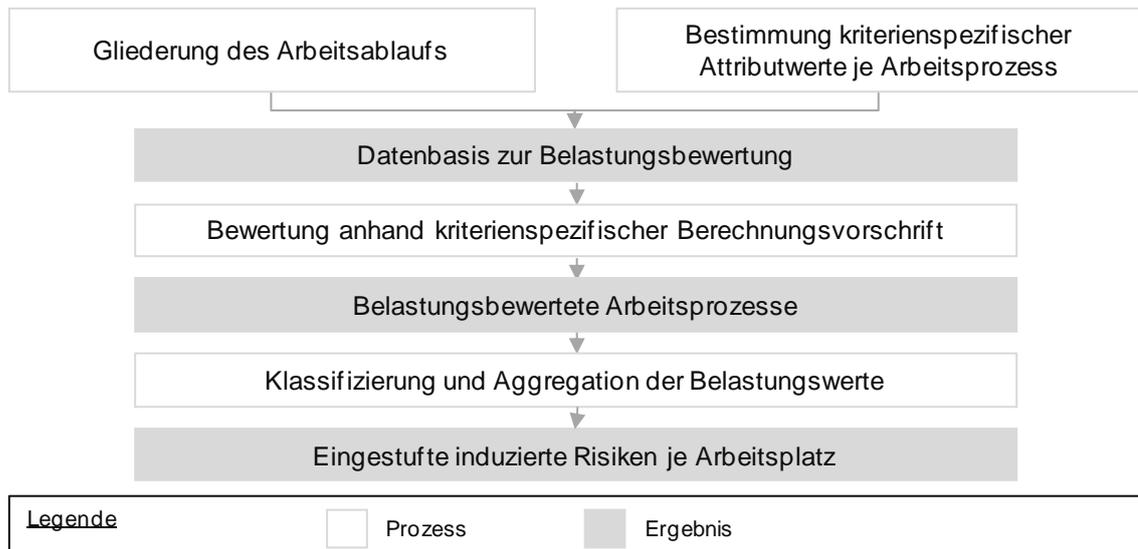


Abbildung 17: Vorgehen zur Einstufung von Arbeitsbelastungen

¹¹ Eine Übersicht zu bestehenden Verfahren findet sich unter anderem bei CAFFIER ET AL. (1999) oder NEUMANN (2007).

Industrielle Relevanz besitzen vor allem Screening-Verfahren, die einen zuverlässigen Überblick über Ansatz- und Schwerpunkte zur Arbeitsplatzverbesserung liefern, aber mit vertretbarem Aufwand anwendbar sind (RICHTER 2010, S. 318). Auftretende Arbeitsbelastungen vollständiger Arbeitsplätze oder -takte werden mittels Screening-Verfahren durch eine dreistufige Skala für nicht leistungsgewandelte Mitarbeiter klassifiziert (SINN-BEHRENDT ET AL. 2004). Bei einem roten Risikoniveau kann eine schädigungslose Arbeitsausführung nicht sichergestellt werden, Arbeitsplatzumgestaltungen sind unabdingbar. Ein mittleres, gelb gekennzeichnetes Risikoniveau kann Erkrankungen verursachen, die Arbeit an einem solchen Arbeitsplatz kann jedoch unter bestimmten Rahmenbedingungen wie einer belastungsabgestimmten Job Rotation fortgesetzt werden. Bei grünem, niedrigem Risiko kann eine gesundheitliche Beeinträchtigung durch die Arbeitsausführung weitgehend ausgeschlossen werden (SINN-BEHRENDT ET AL. 2004; FALCK ET AL. 2010, S. 26).

Neben etablierten Verfahren wie etwa OWAS (kurz für Ovako Working Posture Analysing System, nach KARHU ET AL. 1981) und der NIOSH-Methode des National Institute for Occupational Safety and Health (WATERS ET AL. 1993) kommen in produzierenden Unternehmen aus der Forschung adaptierte oder eigens entwickelte Analyseverfahren zum Einsatz. In der Automobil-, Elektro- und Zulieferindustrie sind das EAWS- und das AAWS-Verfahren (kurz für European Assembly Worksheet bzw. Automotive Assembly Worksheet) einsetzbar (LANDAU 2007B; SCHAUB & BRUDER 2008; BRUDER ET AL. 2009). Diese Verfahren können durch Kombination mit standardisierten Zeitbausteinen für Montageprozesse bereits während der Montageplanung zum Einsatz kommen (SCHAUB 2004). Während der Planung von Montagearbeitsplätzen werden zudem digitale Menschmodelle eingesetzt, mit denen neben Ergonomie- und Belastungsuntersuchungen auch Zeitanalysen, Erreichbarkeitsuntersuchungen, Sichtbarkeitsauswertungen, Kollisionsanalysen oder Komfortuntersuchungen möglich sind (MÜHLSTEDT ET AL. 2008).

3.2.2 Fähigkeitsanalyse

Zur Erhebung der arbeitsbezogenen Leistungsfähigkeit und zur Einstufung von Leistungswandlungen werden unter anderem Functional Capacity Evaluation-Systeme (kurz FCE-Systeme) eingesetzt, die je nach Einsatzzweck verschiedene physische oder psychosoziale Faktoren erheben (SCHIAN ET AL. 2000; ANNEKEN 2006). Ziel eines FCE-Systems ist die systematische, umfassende und vielseitige objektive Messung von Mitarbeiterfähigkeiten in Bezug zur Arbeitsaufgabe

(GOUTTEBARGE ET AL. 2004). RADEMACHER ET AL. (2009, 2010) erläutern das prinzipielle Vorgehen zur Einstufung von körperlichen Fähigkeiten von Mitarbeitern in der Praxis (Abbildung 18).

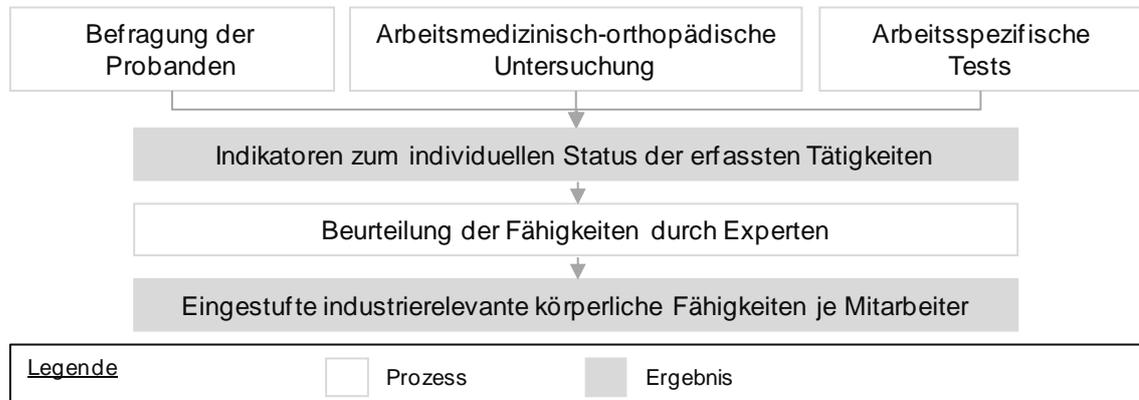


Abbildung 18: Vorgehen zur Einstufung von Mitarbeiterfähigkeiten (nach RADEMACHER ET AL. 2010)

Auf Basis einer Befragung, einer arbeitsmedizinisch-orthopädischen Untersuchung sowie arbeitsspezifischen Test werden Indikatoren zum individuellen Status der erfassten Tätigkeiten ermittelt, also ein Leistungsprofil des Mitarbeiters erstellt. Dessen Beurteilung im Sinne eines Fähigkeitsprofils führt zur Einstufung der körperlichen Fähigkeiten des untersuchten Mitarbeiters (SCHIAN & KAISER 2000). Die Einstufung wird durch Arbeitsmediziner vorgenommen und greift je nach Verwendungszweck erhobener Daten auf unterschiedliche Testmethoden zurück.

Neben Tests für einzelne Leistungsparameter kommen in der beruflichen Rehabilitation ganzheitliche Systeme zum Einsatz. Mittels des ERGOS-Arbeitssimulationsgerätes kann etwa die Leistungsfähigkeit anhand von 240 Aufgaben bewertet werden, um qualitative und quantitative Aussagen zur Belastbarkeit eines Mitarbeiters bezüglich arbeitsplatztypischer Belastungen abzuleiten. Die Tests umfassen fünf Untersuchungsstationen (Heben, Schieben und Ziehen; Ganzkörperbeweglichkeit; Arbeitsausdauer; Arbeitsbelastung im Stehen und Gehen; Sitzen), an denen 42 Einzelparameter überprüft werden (KAISER ET AL. 2000; SCHIAN & KAISER 2000).¹²

¹² Weitere Systeme umfassen unter anderem das Blankenship-System, ERGO-KIT oder das Isernhagen Work System (kurz IWS). Ein Vergleich der Validität dieser Systeme kann GOUTTEBARGE ET AL. (2004) entnommen werden. Eine weitere Auswahl angloamerikanischer FCE-Systeme findet sich bei ANNEKEN (2006, S. 42).

3.2.3 Profilvergleich

Zur Erhebung und zum Management von Leistungswandlungen werden Profilvergleichsverfahren eingesetzt, die sowohl Fähigkeits- als auch Belastungsprofile mittels aufeinander abgestimmter Profilvergleichskriterien klassifizieren und so ein Matching der Profile ermöglichen. Diese Verfahren haben sich vornehmlich in der Automobilendmontage durchgesetzt und erfüllen die Forderung nach einer systematischen Sammlung von Mitarbeiter- und Arbeitsplatzdaten, die während der Montageplanung Anwendung finden können (SINN-BEHRENDT ET AL. 2004; ZÄH & PRASCH 2006). Zweck eines Profilvergleichsverfahrens ist der Abgleich von Mitarbeiterfähigkeiten und Arbeitsplatzanforderungen mittels definierter Merkmale, um arbeitseinsatzrelevante Diskrepanzen feststellen und Verbesserungen gezielt einleiten zu können (Abbildung 19).

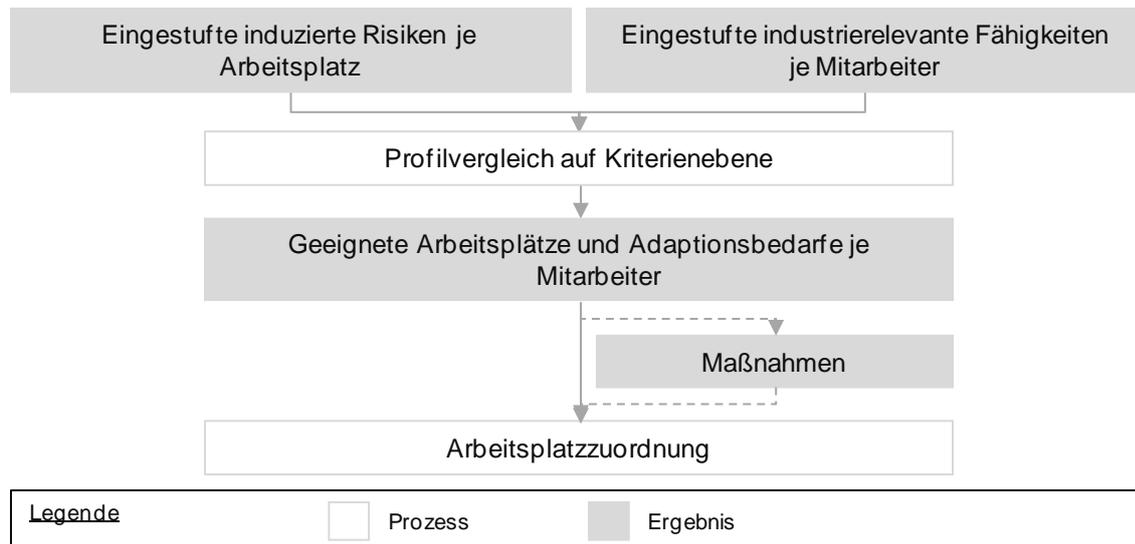


Abbildung 19: Vergleich von Belastungs- und Fähigkeitsprofilen (nach ADENAUER 2004; KNÜLLE 2005; PRASCH 2010, S. 49)

Der Vergleich von Arbeitsplatz- und Mitarbeiterprofilen stellt aufgrund der Informationsfülle eine komplexe Aufgabe dar. Daher werden einheitliche, durchgängige Systeme angestrebt, mit welchen ergonomische Fragestellungen während der Planung und dem Betrieb von Montagearbeitsplätzen beantwortbar sind (SCHAUB ET AL. 2006). Analog zur Belastungs- und Risikoanalyse werden Arbeitsbelastungen auf Prozessbasis mittels vordefinierter Merkmale erhoben und anhand einer Berechnungsvorschrift klassifiziert. Auf diese Weise wird jeder Arbeitsplatz anhand der eingesetzten Profilvergleichskriterien (kurz PVK) beschrieben. Für eine

erste Einschätzung der Problemsituation kommen zudem einfache, durch Befragung ermittelte Mitarbeiter- und Arbeitsplatzprofile unter Anwendung ordinaler Skalen zum Einsatz (DOMBROWSKI ET AL. 2008).

Eingesetzte Verfahren unterscheiden sich durch den Einsatzzweck und damit durch die inhaltliche Ausrichtung enthaltener Profilvergleichskriterien. Das aus der beruflichen Rehabilitation und Integration stammende IMBA-Verfahren (kurz für Integration von Menschen mit Behinderungen in die Arbeitswelt) bietet mittels Softwareunterstützung die Möglichkeit für einen automatischen Profilvergleich (AKMAN & ALLES 2008). Neben vordefinierten Merkmalskomplexen können anwendungsspezifisch eigene Merkmale definiert werden. Mögliche Ausprägungen werden durch eine fünf- bzw. sechsstufige ordinale Skala vergeben. Zudem können Merkmale gewichtet werden. Belastungsintensität, -dauer oder -höhe werden ebenfalls über die zuvor beschriebene Skala beurteilt (AKMAN & ALLES 2008). Für 19 IMBA-Merkmale können Mitarbeiterfähigkeiten durch das Verfahren „ERGOS To IMBA“ (kurz ETI) beurteilt werden (ANNEKEN 2006, S. 131). Für die Montage besteht der Nachteil, dass die Risikobeurteilung weiterhin das Vorhandensein eines Belastungsanalyseverfahrens erfordert.

Zur Beurteilung psychologischer Mitarbeiteranforderungen besteht das MELBA-Verfahren, mit welchem kognitive, soziale, psychomotorische, kommunikative Merkmale sowie Merkmale zur Arbeitsausführung erhoben und mit Arbeitsanforderungen verglichen werden können (KLEFFMANN ET AL. 1997; IMBA 2000). Für den Produktionseinsatz geeignete Systeme bieten neben formalisierten Beschreibungen zur Klassifikation von Leistungswandlungen ein Kriteriendesign, das für die Anwendung in der Montage sowohl in Bezug auf auftretende Belastungen als auch Fähigkeitseinschränkungen ausgelegt ist (SCHAUB ET AL. 2006; REINHART & EGBERS 2012).

Das erste wissenschaftlich fundierte Profilvergleichssystem für die industrielle Montage ist die mittlerweile 19 Kriterien umfassende Anforderungs- und Belastbarkeitsanalyse (kurz ABA) (FRIEDRICH 1986; PRASCH 2010, S. 47). Jeder Teilvorgang wird hinsichtlich der ABA-Kriterien bewertet (Tabelle 22 auf S. 159), mittels Kriteriengewichtung ein aggregierter EBI-Wert (kurz für Ergonomischer Bewertungs-Index) auf Arbeitsplatzbasis ermittelt und durch vordefinierte Schwellenwerte nach dem Ampelprinzip klassifiziert (BUBB 2007). Zur Erhebung des Merkmals „Handhaben von Lasten“ wurden die „Leitmerkmal-methode Heben, Tragen, Halten“ und die NIOSH-Berechnungsvorschrift integriert (WATERS ET AL. 1993; WATERS ET AL. 1994; JÜRGENS ET AL. 2001).

Ein weiteres auf die Arbeitsanforderungen der Montage zugeschnittenes Profilvergleichsverfahren stellt das Ergo-FWS (kurz für Ergonomie-Frühwarnsystem) dar (SINN-BEHRENDT ET AL. 2004): Die Arbeitsplatzanalyse basiert auf dem AAWS und vergibt für untersuchte Kriterien sogenannte Risikopunkte, die wiederum nach dem Ampelprinzip in drei Risikostufen klassifiziert werden. Die Leistungsfähigkeit eines Mitarbeiters wird durch Vergabe eines Prozentwertes im Vergleich zur vollen Leistungsfähigkeit von 100 % vorgenommen. Das Gesamtrisiko einer Mitarbeiter-Arbeitsplatz-Kombination wird durch die Berechnung des individuellen mitarbeiterbezogenen Risikos je PVK beurteilt, indem die Risikopunkte des Arbeitsplatzes ins Verhältnis zur entsprechenden Leistungsfähigkeit des Mitarbeiters gesetzt und ebenfalls mittels des Ampelprinzips beurteilt werden (Tabelle 2).

Tabelle 2: Mitarbeiterspezifische Risikobeurteilung von Arbeitsbelastungen auf Basis einzelner Profilvergleichskriterien (nach SINN-BEHRENDT ET AL. 2004)

Risiko-punkte	Klassifi-zierung	Erläuterung
0 - 25	Grün	Empfehlenswert: niedriges Risiko, Maßnahmen nicht erforderlich, Mitarbeitereinsatz möglich
26 - 50	Gelb	Nicht empfehlenswert: mögliches Risiko, Mitarbeitereinsatz nur nach Maßnahmen zur Gestaltung / Risikobeherrschung möglich
> 50	Rot	Zu vermeiden: hohes Risiko, Mitarbeitereinsatz nicht möglich, Maßnahmen zur Engpassbeseitigung / Risikobeherrschung erforderlich

Die steigende Bedeutung von Leistungswandlungen führt zu einer zunehmenden Komplexität bei der Zuordnung von Personal zu Produktionsarbeitsplätzen. Um die praktische Handhabbarkeit von Profilvergleichssystemen zu erhöhen, bestehen zudem IT-unterstützte Systeme zur Erfassung und Verwaltung von Arbeitsplätzen (kurz APMS für Arbeitsplatzmanagementsystem). Auf Basis einer Fähigkeitsanalyse der Mitarbeiter sowie unternehmensintern vorliegenden Belastungsdaten für Produktionsarbeitsplätze erfolgt eine Zuordnung unter Verwendung der aus der Arbeitsplanung vorhandenen Produktionslayouts (DUBIAN 2009).

3.3 Individuelle Fähigkeiten in der Montageplanung

Der Abgleich von menschlichen Bedürfnissen und wirtschaftlicher Effizienz ist ein Hauptziel der Ergonomie (BRUDER ET AL. 2009, S. 383). Dieser Abgleich

kommt in der Montage zum Einsatz, wenn eine vollständige Montageautomatisierung nicht wirtschaftlich oder technisch umsetzbar ist. Die Gestaltung von Montagesystemen stellt daher eine Querschnittsaufgabe für Ergonomen, Mitarbeiter des Arbeitsschutzes, der Arbeitssicherheit sowie Montageplaner und -betreiber dar. Für das Verständnis der in der Arbeit dargestellten Methodik sind neben den Verfahren zur Planung von Montagesystemen Aspekte der Personalplanung und der Produktionsergonomie notwendig. Diese Aspekte werden im Folgenden vorgestellt. Eine Darstellung wichtiger Ansätze der demographieorientierten Montageplanung erfolgt im Anschluss.

3.3.1 Ansätze der Personaleinsatzplanung

Die Ermittlung geeigneter Arbeitsplätze auf Basis von Mitarbeiterinformationen stellt ein Personaleinsatzproblem dar. Inhalt der Personaleinsatzplanung ist die zukünftige quantitative, qualitative, örtliche und zeitliche Einordnung der verfügbaren personellen Kapazität in den Leistungserstellungsprozess unter Berücksichtigung der Ziele des Unternehmens und der Belange der einzelnen Mitarbeiter (EVERSHEIM & SCHUH 1996, S. 12 ff.). Die Personalplanung umfasst zwei Problembereiche: Inhalt des Anpassungsproblems ist die Anpassung der Arbeit an den Menschen. Das Zuordnungsproblem behandelt die optimale Kombination der quantitativen und/oder qualitativen Zuordnung von Arbeit und Mensch (ZÜLCH 1979, S. 5; HEITZ 1994, S. 30) (Abbildung 20).

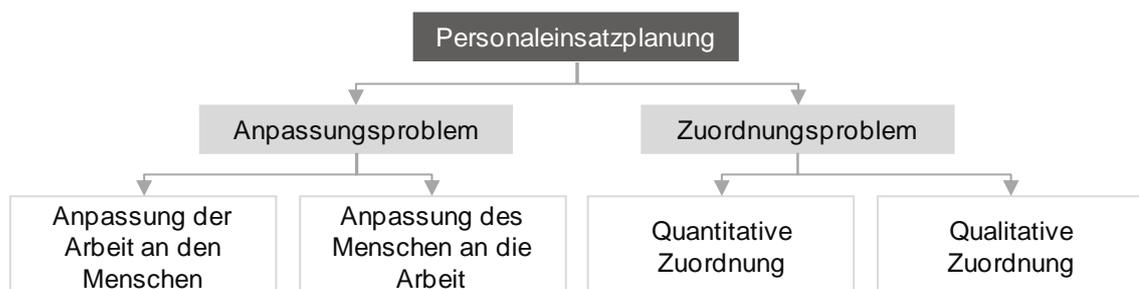


Abbildung 20: Gestaltungsmöglichkeiten der Personaleinsatzplanung (nach EVERSHEIM & SCHUH 1996, S. 12 ff.)

Die Aufgaben der Personaleinsatzplanung sind abhängig vom zeitlichen Planungsfokus und lassen sich gemäß Abbildung 21 in Kontroll-, kurz- bis mittelfristige Planungs- sowie langfristige Personalstrukturaktivitäten untergliedern.

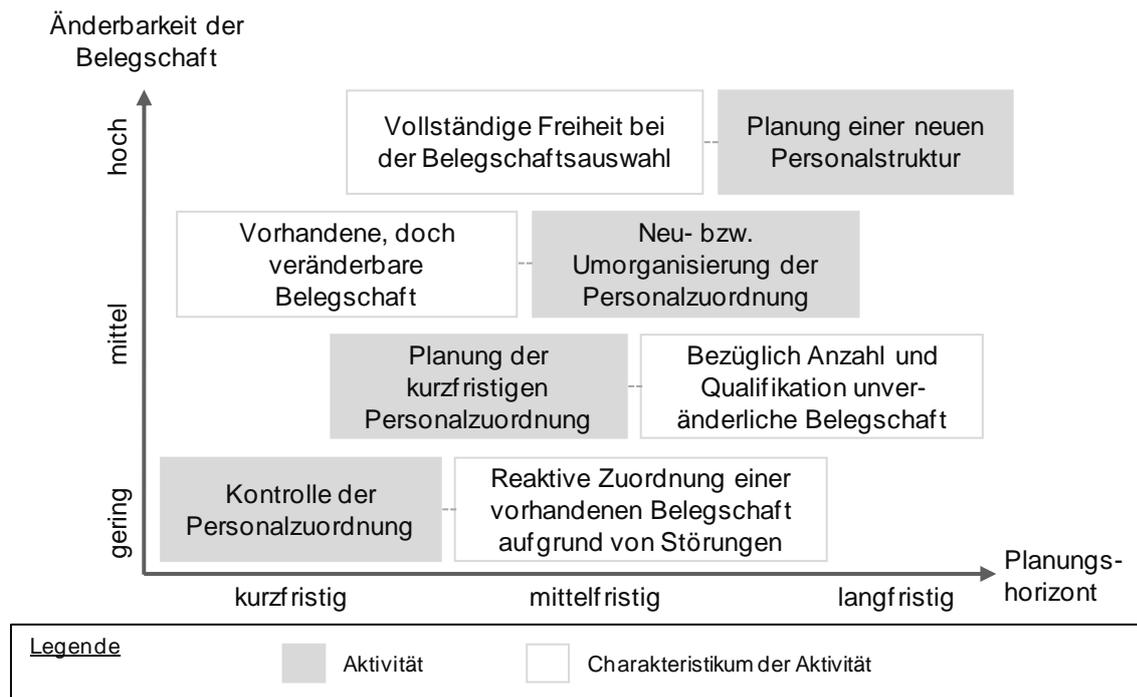


Abbildung 21: Aktivitäten der Personaleinsatzplanung in Abhängigkeit des Zeithorizontes (nach ZÜLCH ET AL. 2004; ZÜLCH 2005)

Personaleinsatzplanungssysteme gleichen den kurz- bis mittelfristigen Personalbedarf mit dem Personalbestand quantitativ und qualitativ ab und bestimmen so den konkreten Personaleinsatz. Berücksichtigte Zuordnungsrestriktionen von Mitarbeitern zu Arbeitsplätzen bestehen in der Mitarbeiterverfügbarkeit, der Mitarbeiterereignung und fakultativ zu berücksichtigenden Mitarbeiterpräferenzen (STROHMEIER 2008, S. 115).

Für die Personaleinsatzplanung während der Montageplanung existieren für die Automobilindustrie sequenzorientierte Ansätze, mit welchen Personalüber- sowie -unterdeckungen durch angepasste Auftragsplanung vermieden werden sollen (MÄRZ ET AL. 2011). Mitarbeiter werden in diesem Ansatz über ihre Anzahl modelliert. Als Personalstruktur wird die Menge an Personen in einem Fertigungssystem und deren Qualifikation bezeichnet (ROTTINGER 2005, S. 65). Mit Bezug auf WILDEMANN (1991, S. 94 ff.), nach welchem Arbeitszeitsysteme hinsichtlich personeller und sozialer Wirkungen bewertet werden sollten, ergänzt BOGUS (2002, S. 126) dieses Zielsystem für die Simulation von Arbeitszeitsystemen um die mitarbeiterbezogene Zielerreichung von Ermüdungs- und Zeitstressgraden.

HEITZ (1994) zieht zur Personalstruktursimulation den quantitativen und qualitativen Personalbedarf heran und simuliert anschließend den Personaleinsatz. Das Ergebnis dieser Vorgehensweise ist eine Personalstruktur, d. h. die nach Anzahl und

erforderlicher Qualifikation beschriebenen Mitarbeiter, wie sie für das jeweils betrachtete Fertigungssystem zum Einsatz kommen soll. ROTTINGER (2005) bewertet Fertigungssysteme unter Verwendung von Zielerreichungsgraden in drei Dimensionen: Neben der produktionslogistischen Bewertung anhand von Durchlaufzeitgraden, Personalauslastung und dem Abarbeitungsgrad des Fertigungsprogramms wird eine monetäre Bewertung von Personalstrukturen anhand von Personaleinsatzkosten sowie von personalbezogenen Zielsetzungen durchgeführt. ENDER (2009) stellt eine Methode zur Prognose von Personalbedarfen im Produktionsanlauf vor, mit welcher Personalbedarfskennfelder ermittelt werden. Ziel der Methode ist die Minimierung von Personaleinsatzkosten bei gleichmäßiger Ressourcenauslastung. Die Einsetzbarkeit von Mitarbeitern wird in diesem Ansatz durch die Werkerqualifikation modelliert.

3.3.2 Ansätze des Operations Research

Bei Zuordnungsproblemen im Rahmen der Personaleinsatzplanung beschreibt ein Eignungskoeffizient c_{ij} die durch eine Zuordnung entstehenden Kosten. Ziel des Zuordnungsproblems ist die kostenoptimale Zuweisung einer Menge an Mitarbeitern zu einer gleichgroßen Menge an Arbeitsplätzen (NEUMANN & MORLOCK 2004, S. 292; PENTICO 2007, S. 775):¹³ n Arbeiter werden m Tätigkeiten zugeordnet, wobei für eine Zuordnung Kosten in Höhe von c_{ij} Geldeinheiten entstehen ($c_{ij} \geq 0$) und jeder Mitarbeiter genau einer Tätigkeit sowie jede Tätigkeit genau einem Mitarbeiter zugeordnet wird ($m = n$).

Als Lösungsverfahren für dieses Problem werden neben weiteren der Simplex-Algorithmus, der Glover-Klingman-Algorithmus als Modifikation der ungarischen Methode nach KUHN (1955) und MUNKRES (1957) oder die Frequenzmethode nach HABR (1962) verwendet (NEUMANN & MORLOCK 2004, S. 294 ff.).

Das lineare Zuordnungsproblem wird nach DOMSCHKE & DREXL (2005, S. 92) folgendermaßen formuliert:

¹³ Für einen Überblick der wichtigsten Zuordnungsprobleme vgl. ERNST ET AL. (2004) und PENTICO (2007), Lösungsansätze für das Zuordnungsproblem lassen sich DELL'AMICO & MARTELLO (1997) entnehmen.

$$\text{Minimiere} \quad \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

$$\text{u. d. N.} \quad \sum_{j=1}^m x_{ij} = 1 \text{ für } i = 1, \dots, n \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \text{ für } j = 1, \dots, m \quad (3)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \text{ für } i = 1, \dots, n \text{ und } j = 1, \dots, m \quad (4)$$

Ein Großteil der das Zuordnungsproblem nutzenden Operations Research-Ansätze fokussiert das Kompetenzniveau von Montagemitarbeitern im Sinne von Qualifikationen, die einen Werker zur Besetzung eines Arbeitsplatzes befähigen und auf diese Weise in die Kostenfunktion einfließen. So verwenden PETERS & ZELEWSKI (2005) für die Zuordnung von Mitarbeitern zu Arbeitsplätzen Goal Programming-Ansätze, mit denen eine Arbeitsplatzzuordnung basierend auf dem aktuellen Kompetenzniveau und den Mindestanforderungen für den Einsatz an einem bestimmten Arbeitsplatz ermöglicht wird. Zudem werden Mitarbeiter so den Arbeitsplätzen zugewiesen, dass individuelle Präferenzen hinsichtlich der Menge an definierten Kompetenzen der relativen Wichtigkeit dieser Kompetenzen an den jeweiligen Arbeitsplätzen und die Präferenzen den momentanen Ausprägungen an den Arbeitsplätzen entsprechen. FOWLER ET AL. (2008) setzen Heuristiken zur Minimierung der Personaleinsatzkosten bei unterschiedlichen kognitiven Fähigkeiten der Mitarbeiter in der Personaleinsatzplanung ein.

CAO & WANG (2010) wenden einen Abgleich von Mitarbeitererngung und Arbeitsanforderungen für die qualitative Personalzuordnung an. Unter der Annahme, dass die Werkerkompetenz mit steigender Einsatzdauer an einem Arbeitsplatz zunimmt, ermitteln sie quantitativ die sog. Personnel Station Fitness für die kurzfristige Personaleinsatzplanung. Kompetenzniveaus werden stark vereinfacht über die Erfahrungsdauer modelliert.

Ziel der Montageaustaktung ist die Zuordnung einzelner nicht weiter unterteilbarer Arbeitsoperationen zu Montagestationen (BAYBARS 1986). MIRALLES ET AL. (2008) und COSTA & MIRALLES (2009) beschreiben ein aus Montageaustaktung und Personaleinsatzplanung bestehendes integriertes Problem für die Zuweisung von Aufgaben und Mitarbeitern zu Arbeitsstationen in Werkstätten für Behinderte.

Als Resultat der variierenden Leistungsfähigkeit entstehen an jedem Arbeitsplatz mitarbeiterindividuelle Prozesszeiten, die durch den entwickelten Branch and Bound-Algorithmus berücksichtigt werden. Die auch in Werkstätten für Behinderte eingesetzten Montagelinien mit einer hohen Arbeitsteilung werden als Vorteil angesehen, da Arbeitsplätze so ausgewählt werden, dass keine Anforderungen an jeweilige Behinderungen gestellt werden (MIRALLES ET AL. 2008, S. 354).

Zur Ermittlung der minimal möglichen Taktzeit bei gleichzeitig minimalen Haltekraften aller an einer Montagelinie eingesetzter Mitarbeiter setzen CARNAHAN ET AL. (2001) drei Heuristiken ein. Als Ergebnisvariablen werden die generierte Taktzeit sowie die gemittelte Ermüdung der Werker angegeben. Zusammenfassend erkennen die Autoren einen hohen Nutzen der Integration physischer Anforderungen und benennen weiteren Forschungsbedarf hinsichtlich der Berücksichtigung zusätzlicher ergonomischer Kriterien in der Austaktung. Für die Reduktion ergonomischer Risiken beim Umtakten – also bei der Änderung bestehender Zuordnungen von Montageoperationen zu Montagestationen – setzen OTTO & SCHOLL (2011) das EAWS-Verfahren ein und stellen fest, dass bei 50 % der Umtaktungsfälle ein akzeptables Risikoniveau erreicht werden kann, ohne die Anzahl an Arbeitsplätzen zu vergrößern.

3.3.3 Produktionsergonomische Strategien

Einschränkende Arbeitsbelastungen für den Einsatz von Leistungsgewandelten werden während der Planung von Montagesystemen festgelegt. Daher führt eine Beschränkung der Montageplanung auf technische Überlegungen ohne Einbeziehung von Ergonomieexperten zu negativen ergonomischen Konsequenzen (NEUMANN ET AL. 2001, S. 4069; CAREY & GALLWEY 2002). Empirische Studien zeigen einen Zusammenhang schon zwischen strategischen Entscheidungen während früher konzeptioneller Phasen der Montageplanung und im Montagebetrieb entstehenden muskuloskelettalen Belastungen (NEUMANN 2004, S. 62). Dennoch werden Überlegungen zu Arbeitsbedingungen in vielen Fällen erst während der Implementierung und bei der Nutzung von Arbeitsplätzen berücksichtigt (JENSEN 2001; JENSEN 2002).

Als korrektive Ergonomie wird die nachträgliche Anpassung von Arbeitsstrukturen und -prozessen an die Anforderungen menschlicher Arbeit bezeichnet. Entsprechende Maßnahmen sind häufig auf eine Adaption ergonomischer und organisatorischer Gestaltungselemente beschränkt (SCHLICK ET AL. 2010, S. 71). Vorrangiges Ziel ist die Korrektur von im Arbeitssystem erkannten Mängeln (ULICH

2005). Für die Gestaltung von Montagesystemen sind vornehmlich Ingenieure verantwortlich, Umweltfaktoren sowie Arbeitsaufgaben fließen erst zu einem späten Zeitpunkt in den Planungsprozess ein (CORBETT ET AL. 1991). Neben mangelnder Zeit stellen mangelndes Wissen zur ergonomischen Arbeitsgestaltung und mangelhafte Methoden und Werkzeuge die größten Einschränkungen dar (BROBERG 2007, S. 361). Bisherige Ansätze der korrektiven Ergonomie greifen zu kurz und verursachen zusätzliche Kosten, die durch Intervention bereits in der Konzeptphase vermieden werden können (BRUDER ET AL. 2009; ROBERT & BRANGIER 2009; REINHART ET AL. 2010A, S. 9). Liegt bei der Behebung dieses Problems der alleinige Fokus auf der Ergonomie, besteht die Gefahr einer nur kurzzeitigen Verbesserung. Aus diesem Grund müssen ergonomische Optimierungen systematisch und nachhaltig in Planungsprozesse eingebunden werden (NEUMANN ET AL. 2009).

Charakteristikum einer konzeptiven Ergonomie ist dementsprechend die neben wirtschaftlichen, technischen und organisatorischen Kriterien gleichgestellte Berücksichtigung arbeitswissenschaftlicher Erkenntnisse während der Gestaltung neuer Arbeitsstrukturen und -prozesse (LAURIG 1990), die anhand der Erfüllung ergonomischer Forderungen überprüft wird (ULICH 2005; PETERS 2007). Auch synonym als präventive Ergonomie bezeichnet, ist die Zielsetzung eine vorwegnehmende Vermeidung von durch die Arbeitsausführung bedingten negativen gesundheitlichen Folgen (ULICH 2005).

Prospektive Ergonomie nimmt menschliche Bedürfnisse und Tätigkeiten vorweg, um hilfreiche und positive Nutzungserlebnisse bietende Gegenstände zu gestalten. Kriterien zur Evaluation positiver Nutzungserlebnisse können Wohlbefinden, Personalentwicklung, Lernen, Unterhaltung, Vergnügen, Vernetzung, Sinnhaftigkeit, Leistung oder Zufriedenheit sein (ROBERT & BRANGIER 2009). Prospektive Ergonomie erweitert somit die korrektive und die konzeptive Ergonomie durch die Schaffung von Möglichkeiten zur Persönlichkeitsentwicklung (ULICH 2005). Eine frühe Vorgehensweise in Anlehnung an das traditionelle Phasenmodell zur Produktionsplanung wurde durch WILSON & CORLETT (1990) entwickelt: Ausgehend von den Bedürfnissen einzusetzender Mitarbeiter wird eine Expertengruppe zusammengestellt, die zunächst die vorhandene Literatur analysiert und im Anschluss detaillierte Mitarbeiterdaten erhebt. Auf dieser Basis werden zu erstellende Mensch-Maschine-Schnittstellen spezifiziert. In einem iterativen Prozess werden Implementierung und Monitoring der Arbeitsbedingungen begleitet. Tabelle 3 zeigt zusammenfassend die Ziele der drei dargestellten produktionsergonomischen Gestaltungsstrategien.

Tabelle 3: Gestaltungsstrategien und Zielsetzungen der Produktionsergonomie (nach ULICH 2005)

Strategie	Zielsetzung
Korrektiv	Korrektur erkannter Mängel
Konzeptiv / Präventiv	Vorwegnehmende Vermeidung gesundheitlicher Schädigungen und Beeinträchtigungen
Prospektiv	Schaffung von Möglichkeiten der Persönlichkeitsentwicklung

3.3.4 Produktionsergonomische Gestaltungsansätze

Im „Kooperationsprogramm zum normativen Management von Belastungen und Risiken bei körperlicher Arbeit“ (KoBra) wurde für mittelständische Unternehmen ein Konzept für den Aufbau eines Ergonomie-Managements mit dem Ziel der Reduktion von MSE entwickelt. Aufbauend auf einer Risikoidentifikation und der Sicherstellung einer durchgehenden Verwendung ausgewählter Belastungsanalyseverfahren auf organisationaler Ebene sollen neben einem Querschnittsmodul Ergonomie-Quality-Gates während der Planung und eine sog. „Fähigkeitsgerechte Planung“ die systematische Integration ergonomischer Arbeitsgestaltung in betriebliche Abläufe unter Anwendung verbreiteter Belastungsanalyseverfahren ermöglichen KUGLER ET AL. (2010). Für die Bestimmung von ergonomischen Quality Gates im Planungsprozess wird ein neunstufiger Prozess zur Identifikation belastungsrelevanter Parameter in der Produktionsplanung skizziert, um in frühen Planungsphasen Überlastungssituationen zu erkennen und entsprechende Gegenmaßnahmen einleiten zu können. Neben arbeitsgestalterischen Parametern, die in Ablaufplanung und Arbeitsplatzgestaltung festgelegt werden, bestimmen bereits in frühen Planungsphasen Projekt- und Planungsauftragsinformationen sowie die Produktkonstruktion entstehende Belastungen. Zudem sind für eine ergonomische Arbeitssystemgestaltung Mitarbeiterinformationen sowie arbeitsorganisatorische Aspekte zu beachten (Tabelle 4).

Die Konzeptumsetzung wird anhand eines fiktiven Unternehmensbeispiels erläutert, jedoch bezieht sich die „präventive Einbeziehung von Mitarbeiterfähigkeiten in die technische und organisatorische Arbeitsgestaltung (...) auf die Kriterien Geschlecht und Körpergröße“ (KUGLER ET AL. 2010, S. 13) und berücksichtigt nicht die Anforderungen Leistungsgewandelter.

*Tabelle 4: Belastungsrelevante Parameter im Montageplanungsprozess
(nach KUGLER ET AL. 2010, S. 33)*

Ablaufplanung	Arbeitsplatzgestaltung
<ul style="list-style-type: none"> • Montagekonzept und -layout • Tätigkeiten und Montageablauf • Stationsanzahl und Austaktung 	<ul style="list-style-type: none"> • Arbeitshöhe inkl. Materialbereitstellung • Zugangsrichtungen und Greifbedingungen • Umgebungseinflüsse
Projekt- und Auftragsinformationen	Produktkonstruktion
<ul style="list-style-type: none"> • Varianten und Stückzahl • Kundentakt • Sequenz, Losgröße • Verpackung 	<ul style="list-style-type: none"> • Produktgeometrie und -gewicht • Teilegeometrie und -gewicht • Fügeoperationen und Montageschritte • Fügekräfte und Drehmomente
Mitarbeiter- und Ressourceneinsatz	
<ul style="list-style-type: none"> • Mitarbeiteranzahl und -auswahl • Mitarbeiterzuordnung und Rotationsmuster 	

Ziel des Modells zur menschenorientierten Gestaltung und Planung von Montagesystemen von MÜLLER & LORENZ (2001) ist die Erhöhung von Effizienz und Qualität, indem Arbeits- und Gesundheitsschutz in die Montageplanung integriert werden. Das Modell sieht eine planungsbegleitende Erstellung von Belastungs- und Gefährdungsprofilen auf Arbeitsplatzbasis vor, mit welchen Gefahrenhinweise und Sicherheitsratschläge bereits in der Planung abgeleitet werden und der betrieblichen Dokumentationspflicht vorherrschender Arbeitsplatzbelastungen nachgekommen wird.

Ziel der von BATTINI ET AL. (2011) vorgestellten Methodik ist die Unterstützung des Montageplaners bei der Gestaltung ergonomischer Montagesysteme durch Anwendung von 14 Schritten, die drei sequentiell ablaufenden Grobplanungsphasen zugeordnet werden. Anhand zweier Anwendungsbeispiele in der Konsumgüter- und Werkzeugmaschinenindustrie wird die parallele Verwendung von Gestaltungshilfen in Form von qualitativ formulierten Matrizen erläutert. Eine Quantifizierung der Erkenntnisse der in Matrixform dargestellten Erkenntnisse zur Auswahl eines geeigneten Produktionslayouts wird durch die Autoren nicht vorgestellt. Zudem berücksichtigt der Ansatz Umweltfaktoren, jedoch ist ein Bezug zur konkreten Belegschaft und deren Fähigkeiten nicht integriert.

Partizipative Ansätze zur Integration ergonomischer Forderungen in die Montageplanung binden neben den an der Planung beteiligten Mitarbeitern zudem die im späteren Montagesystem eingesetzten Werker in den Gestaltungsprozess ein (NORO & IMADA 1992). Vorteil dieser Methode ist die verringerte Einbringung

risikobehafteter Arbeitssituationen in das Montagesystem, die erst während der Inbetriebnahme des Systems erkannt werden (LOOZE ET AL. 2003, S. 180).

Weitere Möglichkeiten zur Integration ergonomischer Forderungen in die Produktionsplanung umfassen u. a. sozio-technische Ansätze, in welchen phasenweise technisches und soziales Subsystem getrennt voneinander entwickelt werden (JENSEN 2002, S. 124) Zusätzlich werden Dialog-Seminare eingesetzt, in welchen alle organisatorischen Ebenen eines Unternehmens in einem kooperativen Prozess gemeinsame Entscheidungen zur zukünftigen Produktion treffen (JENSEN 2002, S. 125).

3.3.5 Demographieorientierte Ansätze

Die sich durch den demographischen Wandel diversifizierenden Mitarbeiterfähigkeiten erfordern zunehmend spezifische Planungsverfahren, die ebenfalls in mikro- und makroergonomische Ansätze unterschieden werden.

KRÜGER (2007) und MÜLLER & KRÜGER (2010) stellen ein makroergonomisches Rahmenkonzept zur demographieorientierten Fabrikplanung vor, das vornehmlich die frühen Phasen der Fabrikplanung fokussiert. Während der Grobplanung wird eine Entscheidung zur Auswahl der prinzipiellen Strategie im Umgang mit betroffenen Mitarbeitern herbeigeführt. Alternative Strategien sind die Integration betroffener Mitarbeiter in herkömmliche Produktionsbereiche, die unternehmensinterne Separation dieser Mitarbeiter, In- bzw. Outsourcing sowie die Auswahl geeigneter Arbeitszeitmodelle. In der sich anschließenden Feinplanung werden operative Werkzeuge wie die ganzheitliche und differentielle Arbeitsgestaltung, der Einsatz eines Arbeitsplatzkatasters oder Gruppenarbeitskonzepte angewendet.

HAMMER (1996) stellt ein Grundmodell zur altersgerechten präventiven Montageplanung vor, in welchem ein qualitativ formuliertes Zielsystem sowie eine anthropozentrische Gestaltungsstrategie unter Verwendung von Gestaltungsregeln angewendet werden. Durch die Integration von vier Bewertungsstufen in bestehende technozentrierte Planungssystematiken werden Kontrollpunkte eingerichtet, die jeweils Rückkopplungsmechanismen auslösen und eine Umplanung anstoßen. KEMPE & REIF (1996) bewerten unterschiedliche Montageorganisationsformen hinsichtlich ihrer Eignung für ältere Mitarbeiter und geben qualitativ formulierte Gestaltungshinweise für die Gestaltung von Arbeitsplatz, Arbeitsinhalt und Technik.

KEIL ET AL. (2010) und KEIL & SPANNER-ULMER (2012) nutzen in einem sechs-stufigen mikroergonomischen Vorgehen das sog. Chemnitzer Altersmodell, um alterskritische Tätigkeiten bereits während der Produktionsplanung erkennen und Gegenmaßnahmen einleiten zu können. Ziel des Ansatzes ist nicht die Gestaltung von Montageprozessen entsprechend der individuellen Fähigkeiten konkreter Werker, sondern die Erhebung und anschließende Verringerung der altersabhän-gigen Beanspruchung. Zu diesem Zweck werden die durch einen Montageprozess gestellten Arbeitsanforderungen mit empirischen Altersverläufen produktionsrele-vanter Fähigkeiten verglichen und der untersuchte Montageprozess hinsichtlich seiner Alterskritikalität bewertet und anschließend verbessert.

BOGUS & DORN (2010) adressieren den mit dem demographischen Wandel einher-gehend steigenden Arbeitsplatzbedarf leistungsgewandelter Mitarbeiter, indem auf Basis von empirisch vorliegenden Leistungswandlungsdaten und Altersstruktur-prognosen der zukünftige Bedarf an spezifisch zu gestaltenden Arbeitsplätzen ab-geschätzt und entsprechende Gestaltungshinweise an planende Abteilungen über-mittelt werden. Einen ähnlichen Ansatz wählen DOMBROWSKI ET AL. (2008) bei der quantitativen Feststellung des Handlungsbedarfs auf arbeitsgestalterischer Seite.

3.4 Diskussion des Forschungsstandes

Zum Ziel einer ganzheitlichen, bereichsübergreifenden Planung komplexer Mon-tagesysteme gehört, das Zusammenwirken der Systemelemente zu planen. Neben der Optimierung einzelner Arbeitsplätze und Aufgabenbereiche rücken zusam-menhängende Funktionen des betrieblichen Leistungserstellungsprozesses, deren Integration und die Erhöhung der Wirtschaftlichkeit der Planung selber in den Mit-telpunkt der Überlegungen (BULLINGER & GOMMEL 1995, S. 85). Moderne Pla-nungssystematiken gehen nach dem Top-Down-Ansatz vor, indem das fokussierte Montagesystem mit Planungsfortschritt verfeinert und detailliert wird, wobei die Einzelkomponenten zumeist nach Abschluss der Gesamtsystemkonzeption ge-plant werden. Schwerpunkte werden auf die Automatisierbarkeit (LOTTER 1992), Zielkosteneinhaltung (SCHNEPF 1995), Risikoreduktion (WEYAND 2010), Flexibi-lisierung (ROSCHER 2008) und zunehmend informationslogistische und komplexi-tätsreduzierende Aspekte (JONAS 2000; GRUNWALD 2002; FUSCH 2005; RUDOLF 2007; MOTUS 2009) der Montagesystemplanung gesetzt.

Bezogen auf einzusetzende Mitarbeiter werden personenbezogene Zielkriterien wie die Verringerung psychischer und einseitiger physischer Belastung oder die Förderung von Kreativität und Leistungsfähigkeit eingebunden (BULLINGER & AMMER 1986, S. 65). Neben Verweisen auf eine ergonomische Arbeitsplatzgestaltung, die in nahezu allen Montageplanungsverfahren eingebunden sind, stellen Anforderungs- und Eignungsanalysen (BULLINGER & AMMER 1986, S. 319; REFA 1990, S. 110) sowie Personaleinweisung und -qualifizierung (BULLINGER & AMMER 1986, S. 326; REFA 1990, S. 112; LOTTER 1992, S. 384; LOTTER 1998) den Schwerpunkt planerischer Aktivitäten in Bezug auf die Belegschaft dar. Diese werden jedoch erst in späten Phasen der Montageplanung im Rahmen der Personaleinsatzplanung berücksichtigt.

Auf ergonomische Grundlagen wird somit verwiesen, eine Spezifizierung hinsichtlich der konkret einzusetzenden Belegschaft findet jedoch nicht statt. Die erste auf den individuellen Mitarbeiter eingehende Planungsphase in produktionstechnisch orientierten Planungsansätzen ist die Personaleinsatzplanung. Eine Bewertung der Mitarbeiterereinsatzbarkeit findet in bestehenden Montageplanungssystematiken nicht statt. Dies gilt insbesondere für frühe Planungsphasen. Unterschiedliche Fähigkeitsprofile sowie die Einbindung Leistungsgewandelter werden während der eigentlichen Montagesystemplanung weitgehend außer Acht gelassen. Ein Grund für die mangelnde Berücksichtigung von arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen in der Montageplanung ist die Fehlinterpretation als Gesundheitsförderungsprogramm, die dem Personalwesen als Aufgabe zugewiesen wird, obwohl positive Auswirkungen einer geeigneten Arbeitsgestaltung auf produktionstechnische Ziele wie etwa Qualität und Produktivität in einer Vielzahl von Studien nachgewiesen werden können (NEUMANN & DUL 2010, S. 924).

Personalplanungsansätze im Rahmen der Montage modellieren vornehmlich die Anzahl verfügbarer und benötigter Mitarbeiter sowie deren Qualifikation. Wesentliche Planungsparameter vorhandener Methoden bestehen in den Aufgabeninhalten der Montagearbeitsplätze und damit im Qualifikationsbedarf (EVERSHEIM & PATOW 2001). Ansätze zur Vermeidung von Personalüber- sowie Personalunterdeckung berücksichtigen keine Einsatzrestriktionen in Form von Mitarbeiterfähigkeiten (vgl. MÄRZ ET AL. 2011). Arbeitsplatzzuordnungen werden zumeist auf qualifikatorischer Basis ermittelt, wobei die Qualifikation beispielsweise über Parameter wie die erworbene Berufserfahrung modelliert wird (vgl. CAO & WANG 2010). Ansätzen zur Ermittlung der Personalstruktur (sei es durch Simulation oder durch deterministische Personalbedarfsermittlung) ist gemein, dass die Anzahl und das Qualifikationsniveau der einzusetzenden Belegschaft ermittelt wird. Diese

Prämisse vernachlässigt ebenfalls individuelle Anforderungen an die Arbeitsplatz- und Arbeitssystemgestaltung einzusetzender Mitarbeiter (vgl. ROTTINGER 2005). Änderungen der individuellen Leistungsfähigkeit von Mitarbeitern werden zudem kaum berücksichtigt (WILLNECKER 2001, S. 26).

Zur Einbindung ergonomischer Anforderungen in die Montageplanung existieren eine Reihe generischer Modelle, die die konzeptionelle Planungsintegration beschreiben. Eine Schwierigkeit dieser Ansätze stellt die Operationalisierbarkeit dar, weil einerseits aggregierte Gesamtmodelle zur Abdeckung unterschiedlicher Planungsphasen benötigt werden, andererseits aber detaillierte Auslegungsinformationen notwendig sind. Ergonomische Informationen müssen sowohl horizontal entlang des Planungsvorgehens als auch vertikal als Umsetzung von ergonomischen Standards in eine Arbeitsplatzlösung integriert werden (DUL ET AL. 2004, S. 8). Für eine ergonomische Produktionsplanung ist eine Vielzahl von Standards und Standardisierungsansätzen vorhanden (WULFF ET AL. 1999). Der inhaltliche Fokus liegt auf einer globalen Reduktion von Arbeitsbelastungen, die erfolgreiche Zuordnung von Mitarbeiterfähigkeiten zu Arbeitsanforderungen steht nicht im Vordergrund. Zwar sind jüngst Fortschritte zur Bewertung von Einzelprozessen hinsichtlich ihrer Alterskritikalität erreicht worden (vgl. KEIL ET AL. 2010; KEIL & SPANNER-ULMER 2012), auf makroergonomischer Gestaltungsebene besteht jedoch weiterer Handlungsbedarf. Da sich bestehende arbeitsgestalterische Ansätze an gesunden Mitarbeitern orientieren, wird die ergonomische Arbeitsplatzgestaltung für leistungsgewandelte Mitarbeiter nicht methodisch eingesetzt (COLOMBINI & OCCHIPINTI 2006, S. 449). Die mit Fokus auf alternde Belegschaften entwickelten makroergonomischen Planungsansätze vernachlässigen ebenfalls individuelle Mitarbeiterfähigkeiten.

Die über qualifikatorische Faktoren hinausgehende Betrachtung unterschiedlicher physiologischer Leistungsfähigkeiten findet in bisherigen produktionstechnischen Ansätzen eine nur geringe Berücksichtigung. Die Anforderungen der Mitarbeiter an die technische und organisatorische Arbeits- und Arbeitsplatzgestaltung, die als Bedingung für den wirtschaftlichen Personaleinsatz gesehen wird, wird in diesen Ansätzen nicht betrachtet. Der aktuelle Forschungsstand bietet derzeit keine ganzheitlichen Ansätze, mit welchen das in Abschnitt 2.5 aufgezeigte Einsatzproblem lösbar erscheint. Eine Zusammenführung bestehender Ansätze bietet jedoch eine Grundlage zur Einbindung von Leistungsgewandelten in den Montageplanungsprozess.

Da Montageplanungsabläufe in der industriellen Praxis als Referenzvorgehen modelliert werden, stellen sie aufgrund des gemeinsamen Verständnisses vom Planungsverlauf und der einheitlichen Definition von anzuwendenden Methoden, (Software-)Werkzeugen sowie von Ein- und Ausgangsdaten eine Grundlage für die Integration von Mitarbeiteranforderungen dar (vgl. FUSCH 2005; MOTUS 2009). Profilvergleichsverfahren bieten im Vergleich zu alternativen unternehmensinternen Datenquellen zudem eine geeignete Datenbasis: Werksärztliche Fähigkeits- und Einschränkungsdokumentationen unterliegen einem strengen Datenschutz und besitzen keine geeignete Formalisierung für die Interpretation und Verwendung durch Produktionsplaner. Personalseitig hinterlegte Daten bieten neben der Qualifizierungsdokumentation selten einen hinreichenden Detaillierungsgrad zur Bewertung der Einsetzbarkeit Leistungsgewandelter. Die Nutzung ergonomischer Datenbasen bei der Montagekonzeption und -auslegung besitzt den Nachteil, dass kein konkreter Bezug zur vorhandenen Belegschaft hergestellt werden kann, weil Gestaltungsvorgaben auf Basis perzentilierter empirischer Werte abgeleitet werden. Eine ergonomische Gestaltung dient der Verringerung und Vermeidung kritischer Belastungssituationen, ermöglicht jedoch aufgrund der speziellen Anforderungsstruktur nicht zwangsläufig die erfolgreiche Integration bereits vorhandener Leistungsgewandelter.

Eine Herausforderung besteht somit in der Kombination von Montageplanungsverfahren und den die Anforderungen Leistungsgewandelter beschreibenden Profilvergleichsdaten, um bereits während der Festlegung von die Personaleinsetzbarkeit determinierenden Parametern geeignete Maßnahmen zur Einbindung Leistungsgewandelter erkennen und ergreifen zu können. Einen möglichen Weg zur Erreichung dieses Ziels lässt sich dem KoBra-Projekt entnehmen, in welchem belastungsrelevante Parameter in den Entwicklungsprozess eingeordnet werden (KUGLER ET AL. 2010). Um die Einsetzbarkeit von Leistungsgewandelten gezielt bewerten zu können, müssen entsprechende Bewertungskriterien in die Planung integriert werden. Zur Erreichung dieses Ziels bieten wiederum Ansätze der Personaleinsatzplanung adaptierbare Methoden: Durch eine planungsbegleitende Lösung des Zuordnungsproblems lassen sich Gestaltungsbedarfe für Leistungsgewandelte ermitteln, die wiederum unter Anwendung von Anpassungsmethoden lösbar erscheinen.

4 Konzeption der Methodik

4.1 Spezifische Anforderungen an die Methodik

Abbildung 22 zeigt zusammenfassend die im Anschluss beschriebenen Anforderungen, welche an die Methodik zur Identifikation und Adaption von Arbeitsplätzen für leistungsgewandelte Mitarbeiter entlang des Montageplanungsprozesses gestellt werden.

Gesamtmethodik				Bewertung des Planungsstandes			Anpassung des Planungsstandes				
Kontinuierliche Anwendbarkeit entlang des Planungsprozesses	Integration an regulären Montagearbeitsplätzen	Präzise und spezifische Formulierung von Leistungswandlungen	Schaffung nach Art und Anzahl geeigneter Arbeitsplätze	Einsatz eindeutiger und nachvollziehbarer Bewertungen	Kennzahlenbindung im Zielsystem des Planungsprojektes	Quantitative Bewertung der Mitarbeitereinsetzbarkeit	Abgleich von Leistungswandlungen und Belastungen	Planungsbegleitende Einbindung von Maßnahmen	Informationslogistische Maßnahmenaufbereitung	Bereitstellung kontextbezogener Beispiellösungen	Bezug zum verbesserten Belastungsanalysekriterium

Abbildung 22: Anforderungen an die zu entwickelnde Methodik

Entscheidungen aus frühen Phasen der Produktionsplanung beeinflussen die Einbindbarkeit ergonomischer Anforderungen und damit auch der Anforderungen leistungsgewandelter Mitarbeiter (BURNS & VICENTE 2000, S. 81). Zur Berücksichtigung dieser Anforderungen in der Montagesystemplanung ist deshalb die kontinuierliche Anwendbarkeit der Methodik entlang des Montageplanungsprozesses sicherzustellen.

Bisher durchgeführte Versetzungsstrategien werden in Zukunft keine ausreichende Anzahl an Arbeitsplätzen für leistungsgewandelte Mitarbeiter bieten, so dass eine weitergehende Integration in reguläre Montagelinien erfolgen muss. Gleichzeitig ist eine einseitige Konzentration Leistungsgewandelter auf auslaufende Produkte oder Prozesse (KOCKA & STAUDINGER 2009, S. 53), Nebenlinien oder Schonarbeitsplätze zu vermeiden. Eine „verbesserte Abstimmung von Kompetenzen und Arbeitsplatzanforderungen“ ist notwendig (KOCKA & STAUDINGER 2009, S. 49). Diese Abstimmung sollte vorhandenen Daten und Anforderungen des Gesundheitsmanagements einbeziehen.

Neben mangelnder Zeit ist mangelnde Kompetenz von Produktionsplanern auf dem Gebiet der Produktionsergonomie ein wesentlicher Grund für die unzureichende Berücksichtigung von arbeitswissenschaftlichen Anforderungen (BROBERG 2007). Daher dürfen Anforderungen der Mitarbeiter an die Montage-systemgestaltung nicht vage und generell ausgedrückt, sondern müssen präzise und mit spezifischer Formulierung gewählt werden (WULFF ET AL. 1999, S. 220).

Um verschiedene Planungsalternativen hinsichtlich der Berücksichtigung von leistungsgewandelten Mitarbeitern bewerten zu können, sind eindeutige und nachvollziehbare Bewertungsinstrumente zu entwickeln, die zudem in das Zielsystem eines Montageplanungsprojektes eingebunden werden können. Gleichzeitig müssen quantifizierte Aussagen hinsichtlich der sich im Montagebetrieb ergebenden Mitarbeiterereinsatzbarkeit ableitbar sein, um nach Zahl und Anforderungsniveau geeignete Arbeitsplätze zur Verfügung stellen zu können.

Der bisherige Integrationsfokus in Praxis und Theorie liegt auf der reaktiven Anpassung technischer und organisatorischer Arbeitssystemelemente, die mitarbeiterindividuell auf Arbeitsplatzebene durchgeführt werden. Für die Ausweitung des Betrachtungsbereichs auf ein gesamtes Montagesystem bestehen derzeit keine adäquaten Gestaltungsmethoden. Als weitere Anforderung kann daher die Notwendigkeit zur arbeitsplatzübergreifenden, systembezogenen Identifikation von Arbeitsplätzen für leistungsgewandelte Mitarbeiter bereits entlang des Montageplanungsprozesses abgeleitet werden.

Um diesen Mitarbeitern in der Montage eine fortwährende Beschäftigung zu ermöglichen, sind geeignete Maßnahmen nicht erst bei der Zusatzaufwand erfordernenden Adaption von Arbeitsplätzen zu berücksichtigen. Die frühzeitige Einbindung von Gestaltungsmaßnahmen in allen Phasen des Planungsprozesses ist notwendig (KISTLER ET AL. 2006, S. 30).

Die Berücksichtigung von leistungsgewandelten Mitarbeitern stellt für Arbeits- und Montageplaner eine zusätzliche Eingrenzung vorhandener Freiheitsgrade dar. Die nachhaltige Integration von Mitarbeiteranforderungen in den Planungsprozess ist daher unter informationslogistischen Gesichtspunkten aufzubereiten und in bestehende betriebliche Planungsabläufe so zu integrieren, dass dem ausführenden Planer unter möglichst geringem zusätzlichem Planungsaufwand ein Mehrwert entsteht (REINHART & EGBERS 2012).

Gleichzeitig ist eine hohe Nutzbarkeit ergonomischer Erkenntnisse während der Planung notwendig, um einen erfolgreichen Wissenstransfer an Ingenieure ge-

währleisten zu können (SULLIVAN & MCLEAN 1997). Dies impliziert einen Bezug zum Belastungsschwerpunkt, der durch den Maßnahmeneinsatz kompensiert wird. Eine Möglichkeit bietet die Informationsbereitstellung in bestehenden Softwaretools, die Ingenieure bereits nutzen (LARING ET AL. 1996) oder die Erstellung von Softwarewerkzeugen, die parallel zum eigentlichen Planungsprozess genutzt werden können (REINHART & EGBERS 2012). Ein Zugriff auf kontextbezogene Beispiellösungen kann die Integrierbarkeit der von vielfältigen Restriktionen geprägten Maßnahmen in der Arbeitsplanung aufzeigen (BURNS & VICENTE 2000, S. 81).

4.2 Leitgedanke der Methodik

Zur Erfüllung der Anforderungen wird im Folgenden eine Methodik vorgestellt, die entgegen bisher beschriebenen Verfahren zur Einbindung arbeitswissenschaftlicher Erkenntnisse in die Montageplanung nicht auf perzentilierten Datensätzen der einzusetzenden Mitarbeiter oder qualitativen Handlungsanleitungen zur Arbeitsplatzauslegung beruht. Vielmehr werden ordinalskalierte Fähigkeits- und Einschränkungsklassifizierungen, wie sie durch Profilvergleichsverfahren zur Verfügung gestellt werden, entlang des Montageplanungsprozesses genutzt.

Die der Methodik zugrundeliegende Idee besteht darin, die mit Belastungsanalysekriterien beschriebenen Arbeitsbelastungen bereits während der Montageplanung mit den Leistungswandlungen der Mitarbeiter abzugleichen und so eine Bewertung des Planungsstandes und die gezielte Einbindung von kompensatorischen Maßnahmen zu einem spezifischen Bewertungszeitpunkt zu ermöglichen.

Hierzu ist für jedes verwendete Profilvergleichskriterium der Zeitpunkt bzw. die Planungsmethode im Verlauf des Montageplanungsprozesses zu ermitteln, nach der die arbeitsplatzseitige Ausprägung – also die Arbeitsbelastung – keine Änderung mehr erfährt. Nach einer Analyse und Zusammenfassung dieser kriterienbezogenen die Arbeitsbelastung festlegenden Planungszeitpunkte werden Bewertungszeitpunkte entlang des Montageplanungsprozesses ermittelt (Abschnitt 5.2).

Im Zielsystem des Montageplanungsprojektes werden auf Basis der mitarbeiterseitigen Kriterienausprägungen – also der Leistungswandlungen – Mindestanforderungen an die im System vorkommenden Arbeitsbelastungen hinterlegt, die für eine erfolgreiche Integration Leistungsgewandelter notwendig sind (Abschnitt 5.3).

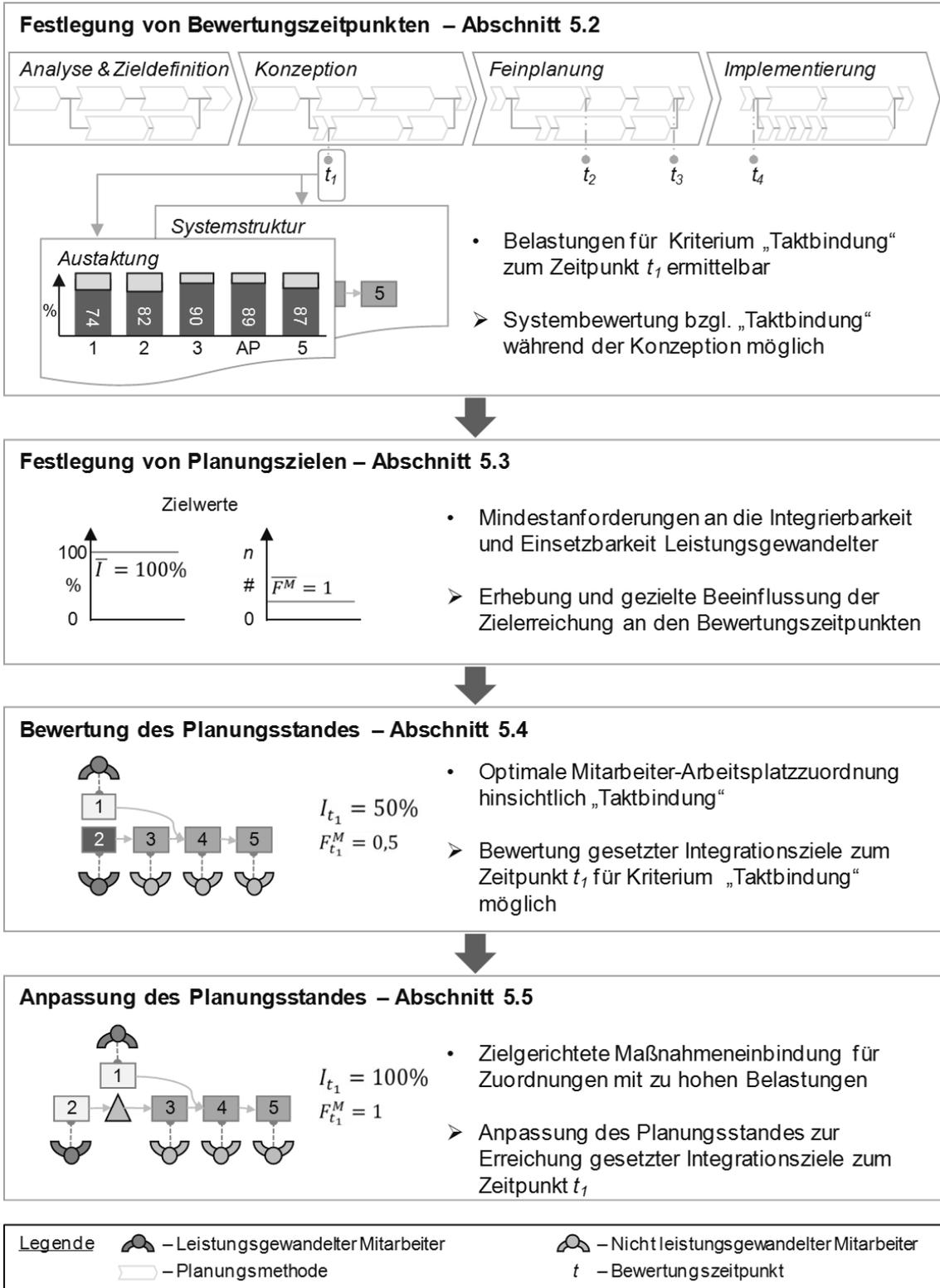


Abbildung 23: Exemplarische Darstellung des Leitgedankens

Der jeweils aktuelle Planungsstand wird bewertet, indem die Eignung jedes leistungsgewandelten Mitarbeiters für jeden Arbeitsplatz anhand der bereits festste-

henden Arbeitsbelastungen kriterienweise ermittelt, Mitarbeiter entsprechend einer zuvor auszuwählenden Zielfunktion den Arbeitsplätzen zugeordnet, die Zuordnungsergebnisse analysiert und integrationsbezogene Kennzahlen erhoben werden (Abschnitt 5.4) („Zuordnungsproblem“).

Werden zuvor gesetzte Integrationszielwerte verfehlt, so werden auf Basis der Zuordnungsergebnisse kriterienabhängig kompensatorische Maßnahmen in den aktuellen Planungsstand eingebracht und dieser wird angepasst (Abschnitt 5.5) („Anpassungsproblem“).

Abbildung 23 zeigt exemplarisch für das PVK „Taktbindung“ die Festlegung von Bewertungszeitpunkten und Planungszielen sowie die Bewertung und Anpassung des Planungsstandes.

4.3 Grundlegende Formalisierungen

Für die Bewertung des Planungsstandes sowie die Spezifizierung und Auswahl von Adaptionen werden im Verlauf der Arbeit Profilvergleichsdaten verwendet. Zunächst werden grundlegende Definitionen zu den im weiteren Verlauf der Arbeit verwendeten Problemcharakteristika festgelegt und erläutert. Aufgrund der Verfügbarkeit unterschiedlicher Profilvergleichssysteme werden das Zuordnungs- und das Anpassungsproblem sowie entsprechende Lösungsmöglichkeiten in Kapitel 4 und 5 abstrahiert, wohingegen die Anwendungsstudie in Kapitel 6 unter Anwendung eines in der Praxis verwendeten Systems erfolgt.

Leistungswandlungen werden in der industriellen Praxis mittels Profilvergleichssystemen dokumentiert, welche die Fähigkeiten eines Mitarbeiters auf Basis einer eindeutigen Klassifizierungsvorschrift mittels einer ordinalen Skala einordnet. Im allgemeinen Fall wird die Eignung eines Mitarbeiters für einen Arbeitsplatz durch den Abgleich von Arbeitsplatzanforderungen und Mitarbeiterfähigkeiten bestimmt. Das Vorliegen eines solchen Systems, entsprechend formalisierter Mitarbeiterdaten und zugrundeliegender Kriteriendefinitionen wird im Folgenden vorausgesetzt, da diese Informationsquellen entlang der gesamten Methodik genutzt werden.

Die unternehmensinterne Standardisierung führt zur Entwicklung von Referenzprozessmodellierungen für wiederkehrende Planungsabläufe (FUSCH 2005; MOTUS 2009). Neben der Nutzung bei Entwicklung und Einführung von Software-

systemen werden Referenzprozesse auch für die Verbesserung von Unternehmensprozessen verwendet, da diese organisationsübergreifende Verbesserungen ermöglichen, indem Schwachstellen in Unternehmensabläufen durch den Abgleich mit einem allgemein anzuwendenden Vorgehen aufgedeckt werden (MOTUS 2009, S. 18). Die Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter in die Montageplanung stellt wegen der Vielzahl an Planungsbeteiligten eine solche organisationsübergreifende Aufgabe dar.¹⁴ Die folgenden Anforderungen werden im Rahmen der in Kapitel 5 erläuterten Methodik an den Detaillierungsgrad des verwendeten Montageplanungsprozesses gestellt:

- Dokumentation von Planungsphasen und zugehörigen Planungsmethoden, verwendeten Werkzeugen, deren chronologischer Reihenfolge und des Datenaustauschs zwischen Planungsmethoden,
- Dokumentation der Ein- und Ausgangsdaten je Methode,
- Dokumentation der Planungsbeteiligten und des Informationsflusses unter den Planungsbeteiligten.

4.3.1 Datenstruktur für den Profilvergleich

Es kommt ein Profilvergleichsverfahren mit $p \in P$ Profilvergleichskriterien zum Einsatz, mit welchem Mitarbeiterfähigkeiten einerseits („Fähigkeitsanalysekriterium“) und die an einem Arbeitsplatz entstehenden Belastungen („Belastungsanalysekriterium“) andererseits klassifiziert werden.

Für die arbeitsplatzseitige Belastungsbewertung besteht jedes Belastungsanalysekriterium k aus f_k Attributen, einer Berechnungsvorschrift B_k sowie einer Klassifizierungsvorschrift K_k , um die Attributsausprägungen in Belastungsniveaus einzuordnen.¹⁵

Abbildung 24 stellt die für die vorliegende Arbeit relevanten Daten eines Profilvergleichsverfahrens dar.

¹⁴ In der Automobilindustrie wird etwa der Planungsauftrag unter Projektleitung, Kostenplanung, Prozessplanung, Betriebsmittelkonstruktion und Bereitstellplanung nach Planungsfunktionen unterteilt (MOTUS 2009). Für die Integration Leistungsgewandelter wird dieses Planungsteam zudem durch das Personalwesen und das Gesundheitswesen ergänzt.

¹⁵ Unter Attributen werden in dieser Arbeit Eingangsparameter zur Belastungsberechnung verstanden, die durch eine Belastungsanalyse erhoben werden. Gehen etwa unterschiedliche Körperhaltungen anhand einer festgelegten Wichtung mittels ordinaler Werte in die Belastungsberechnung ein, so wird die erhobene Körperhaltung als Attribut und die Wichtungsvorschrift als Element der Berechnungsvorschrift verstanden.

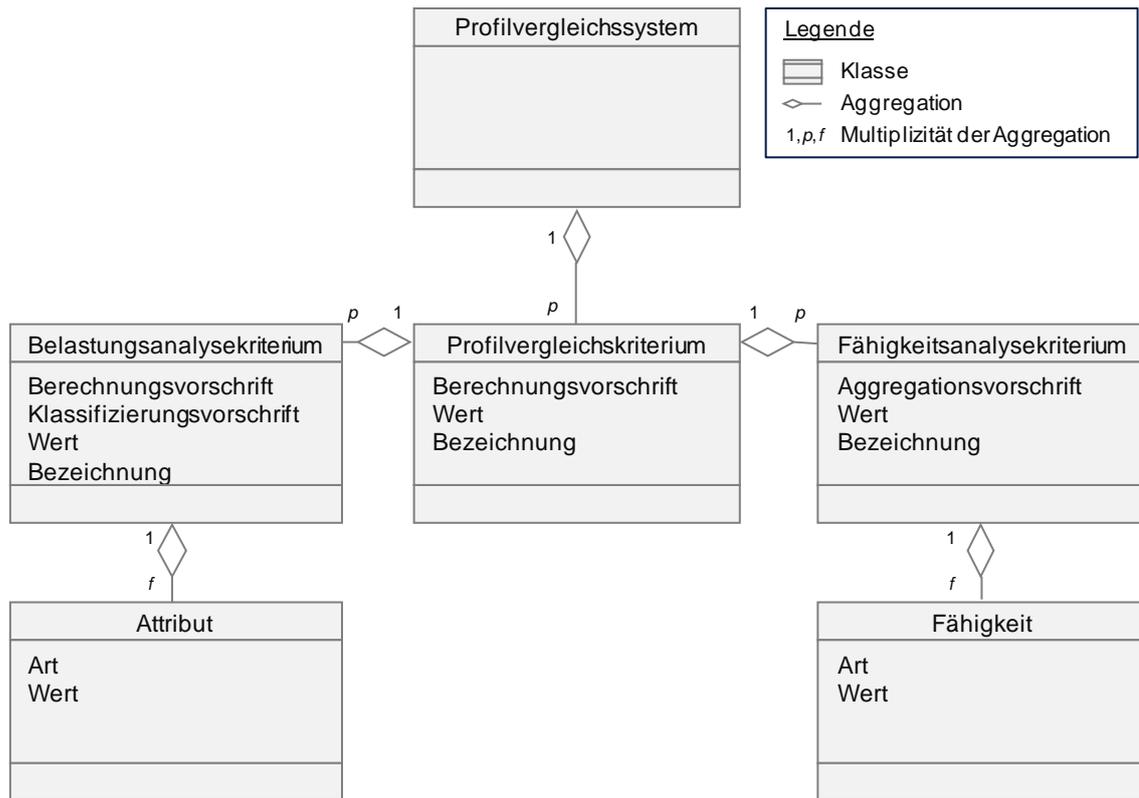


Abbildung 24: Datenstruktur eines Profilvergleichsverfahrens in UML-Notation

4.3.2 Ausprägungen von Profilvergleichskriterien

Es sind $n \in N$ Mitarbeiter und $m \in M$ Arbeitsplätze vorhanden, wobei die Menge an vorhandenen Mitarbeitern und deren Fähigkeiten im betrachteten Problem nicht variabel sind.

Der Wert der Leistungswandlung von Mitarbeiter i bzgl. Profilvergleichskriterium k wird als a_{ik} bezeichnet, das Belastungsniveau von Arbeitsplatz j bzgl. Belastungsanalysekriterium k zum Planungszeitpunkt t als $d_{jk,t}$.¹⁶ Die Wertebereiche von a_{ik} und $d_{jk,t}$ sowie die Zuordnungsrestriktionen von Mitarbeiter i zu Arbeitsplatz j bzgl. Kriterium k sind in Tabelle 5 angegeben.

¹⁶ Wie in Abschnitt 3.2.3 erläutert, verwenden Profilvergleichsverfahren für die Klassifizierung von Arbeitsbelastungen ordinale Skalen, während Leistungswandlungen entweder in Relation zu einer vollen Leistungsfähigkeit mit anschließender arbeitsplatzspezifischer Bewertung oder ebenfalls ordinalskaliert angegeben werden. Vereinfachend werden im weiteren Verlauf der Arbeit ordinale Skalen verwendet, da auch bei Verwendung relativer Leistungswandlungen eine abschließende Überführung des Analyseergebnisses nach dem Ampelprinzip erfolgt (vgl. SINN-BEHRENDT ET AL. 2004 in Abschnitt 3.2.3).

Tabelle 5: Ausprägungen von Profilvergleichskriterien

Werte für Arbeitsbelastungen	$d_{jk,t}$	Werte für Leistungswandlungen	a_{ik}
Keine Belastung bzgl. k vorhanden	1	Hohe Leistungswandlung, Einsatz bzgl. k nur bei $d_{jk,t} = 1$ möglich	1
Niedriges, unkritisches Belastungsniveau bzgl. k , gesundheitliche Beeinträchtigung wird ausgeschlossen („grün“)	2	Mittlere Leistungswandlung, Einsatz bzgl. k nur bei $d_{jk,t} \in [1;2]$ möglich	2
Mittleres, grenzwertiges Belastungsniveau bzgl. k , gesundheitliche Beeinträchtigung möglich („gelb“)	3	Geringe Leistungswandlung, Einsatz bzgl. k bei $d_{jk,t} \in [1;2;3]$ möglich	3
Hohes, kritisches Belastungsniveau bzgl. k , keine schädigungslose Arbeitsausführung möglich („rot“)	4	Keine Leistungswandlung, Einsatz bzgl. k bei $d_{jk,t} \in [1;2;3]$ möglich	4

Für den Profilvergleich wird der Eignungskoeffizient $c_{ijk,t}$ ermittelt, welcher die Eignung von Mitarbeiter i für Arbeitsplatz j bezüglich Profilvergleichskriterium k zum Planungszeitpunkt t beschreibt und folgendermaßen definiert ist:

$$c_{ijk,t} = a_{ik} - d_{jk,t} \quad (5)$$

Tabelle 6 stellt die Interpretation des Eignungskoeffizienten dar. Eine Überführung des Eignungskoeffizienten in das Ampelprinzip ist nicht möglich, da bei nichtnegativen Eignungskoeffizienten eine schädigungslose Arbeitsausführung möglich ist.

Tabelle 6: Interpretation des kriterienbezogenen Eignungskoeffizienten

	$c_{ijk,t} < 0$	$c_{ijk,t} = 0$	$c_{ijk,t} > 0$
Mitarbeiterzuordnung	Zuordnung von i zu j bzgl. k nicht möglich	Zuordnung von i zu j bzgl. k möglich	Zuordnung von i zu j bzgl. k möglich
Nutzung von Mitarbeiterfähigkeiten	Arbeitsanforderung übersteigt Mitarbeiterfähigkeit bzgl. k , daher Fähigkeitsnutzung nicht ohne Belastungsverringerung möglich	Arbeitsanforderung entspricht Mitarbeiterfähigkeit bzgl. k , daher vollständige Fähigkeitsnutzung möglich	Arbeitsanforderung ist niedriger als Mitarbeiterfähigkeit bzgl. k , daher keine vollständige Fähigkeitsnutzung

Die Eignungsbeschreibung von Mitarbeiter i für Arbeitsplatz j stellt ein p -Tupel dar. Eine erfolgreiche Zuordnung eines Mitarbeiters bedingt ein erfolgreiches Matching bzgl. aller p Profilvergleichskriterien, d. h.

$$c_{ijk,t} \geq 0 \forall k \in P \quad (6)$$

Die Menge an Mitarbeitern ohne Leistungswandlungen wird im Folgenden als N_1 bezeichnet, es gilt für diese Mitarbeiter:

$$N_1 := \{i \mid \sum_{k=1}^p a_{ik} = 4p\} \quad (7)$$

Die Menge an Mitarbeitern mit Leistungswandlungen wird als N_2 bezeichnet, es gilt entsprechend:

$$N_2 := \{i \mid \sum_{k=1}^p a_{ik} < 4p\} \quad (8)$$

Bezüglich ihrer Integrierbarkeit kann die Menge N_2 zudem in die Teilmengen der integrierbaren und der nicht integrierbaren leistungsgewandelten Mitarbeiter unterschieden werden: Für integrierbare Mitarbeiter kann trotz vorhandener Leistungswandlung während der Zuordnung zum Bewertungszeitpunkt t ein geeigneter Arbeitsplatz gefunden werden, ohne eine Anpassung des Planungsstandes vornehmen zu müssen (Teilmenge N_{2i}^t).

$$N_{2i}^t := \{i \mid (x_{ij} = 1) \wedge (\nexists k: c_{ijk,t} < 0)\} \quad (9)$$

Für nicht integrierbare Mitarbeiter ist zum Bewertungszeitpunkt t ohne Anpassung des Planungsstandes kein geeigneter Arbeitsplatz vorhanden (Teilmenge N_{2n}^t), da am zugeordneten Arbeitsplatz mindestens ein PVK einen negativen Eignungskoeffizienten aufweist.

$$N_{2n}^t := \{i \mid (x_{ij} = 1) \wedge (\exists k: c_{ijk,t} < 0)\} \quad (10)$$

Arbeitsplatzseitig gilt für jedes Profilvergleichskriterium j , dass der jeweilige Wert einer festgelegten Menge an Einzelattributen mittels einer definierten Berechnungsvorschrift in die in Tabelle 5 dargestellten ordinalskalierten Ausprägungen von $d_{jk,t}$ überführt wird.¹⁷

¹⁷ Da der Fokus der vorliegenden Arbeit auf der Entwicklung einer Methodik zur Einbindung leistungsgewandelter Mitarbeiter in die Montageplanung, nicht jedoch in der Entwicklung und Darstellung von Arbeitsanalyse- und Profilvergleichsverfahren liegt, sei an dieser Stelle auf Abschnitt 3.2 verwiesen.

4.3.3 Charakteristische Planungszeitpunkte

Der Wert eines Attributes l_k wird während des Planungsprozesses von Methoden beeinflusst sowie vor Inbetriebnahme des Montagesystems festgelegt. Während der Montageplanung lassen sich die in Tabelle 7 dargestellten Planungszeitpunkte hinsichtlich ihres chronologischen Einflusses auf ein Attribut l_k unterteilen.

Tabelle 7: *Chronologische Klassifizierung attributbezogener charakteristischer Planungszeitpunkte*

	Auslösung	Beeinflussung	Festlegung
Zeichen	$t_{l_k}^a$	$t_{l_k}^b$	t_{l_k}
Definition	Planungszeitpunkt, zu welchem erstmals während des Montageplanungsprozesses ein Wert für Attribut l_k ermittelbar ist.	Planungszeitpunkt, zu welchem während des Montagsplanungsprozesses der Wert von Attribut l_k verändert wird.	Planungszeitpunkt, nach welchem der Wert von Attribut l_k während des weiteren Montageplanungsprozesses nicht mehr verändert wird.

Analog gilt für die auf Basis mehrerer Attribute berechneten Werte für Belastungsanalysekriterien, dass sich während des Planungsprozesses mehrere Zeitpunkte identifizieren lassen, zu welchen der Kriterienwert berechenbar ist. Da sich Einflüsse auf Attributwerte und damit auf Arbeitsbelastung während der Montageplanung kontinuierlich ändern, ist der Wert eines Belastungsanalysekriteriums ebenfalls Änderungen unterworfen. Tabelle 8 zeigt die Einordnung kriterienbezogener charakteristischer Planungszeitpunkte.

Tabelle 8: *Chronologische Klassifizierung kriterienbezogener charakteristischer Planungszeitpunkte*

	Auslösung	Beeinflussung	Festlegung
Zeichen	t_k^a	t_k^b	t_k
Definition	Planungszeitpunkt, zu welchem erstmals für jedes Attribut l_k ein Wert während des Montageplanungsprozesses bekannt ist.	Planungszeitpunkt(e), zu welchem(n) während des Montagsplanungsprozesses mindestens ein Attributwert von Belastungsanalysekriterium k verändert wird.	Planungszeitpunkt, nach welchem kein Attributwert zur Berechnung von Belastungsanalysekriterium k während des weiteren Montageplanungsprozesses verändert wird.

5 Detaillierung der Methodik

5.1 Übersicht über den Ablauf der Methodik

Die Methodik zur Identifikation und Adaption von Arbeitsplätzen für leistungsgewandelter Mitarbeiter entlang des Montageplanungsprozesses umfasst vier Methoden mit jeweiligen Teilschritten: Während der Analyse- und Zielsetzungsphase des Montageplanungsprozesses erfolgen die Festlegung von Bewertungszeitpunkten (Abschnitt 5.2) und die Festlegung von Planungszielen (Abschnitt 5.3). Die Bewertung sowie die ggfs. notwendige Anpassung des Planungsstandes werden in einer von der Anzahl an Bewertungszeitpunkten abhängigen Anzahl an Iterationen durchgeführt. Bewertung (Abschnitt 5.4) und Anpassung (Abschnitt 5.5) finden somit im Verlauf der Montagesystemplanung während der Phasen „Konzeption, Ablaufplanung und Systementwurf“ sowie „Feinplanung und Ausarbeitung“ statt. Alternative Montagestrukturen auf Basis einzelner Profilvergleichskriterien können durch diese Schritte hinsichtlich der Integrierbarkeit Leistungsgewandelter bewertet und angepasst werden.

Abbildung 25 zeigt im Überblick die entwickelten vier Methoden mit ihren jeweiligen Teilschritten.

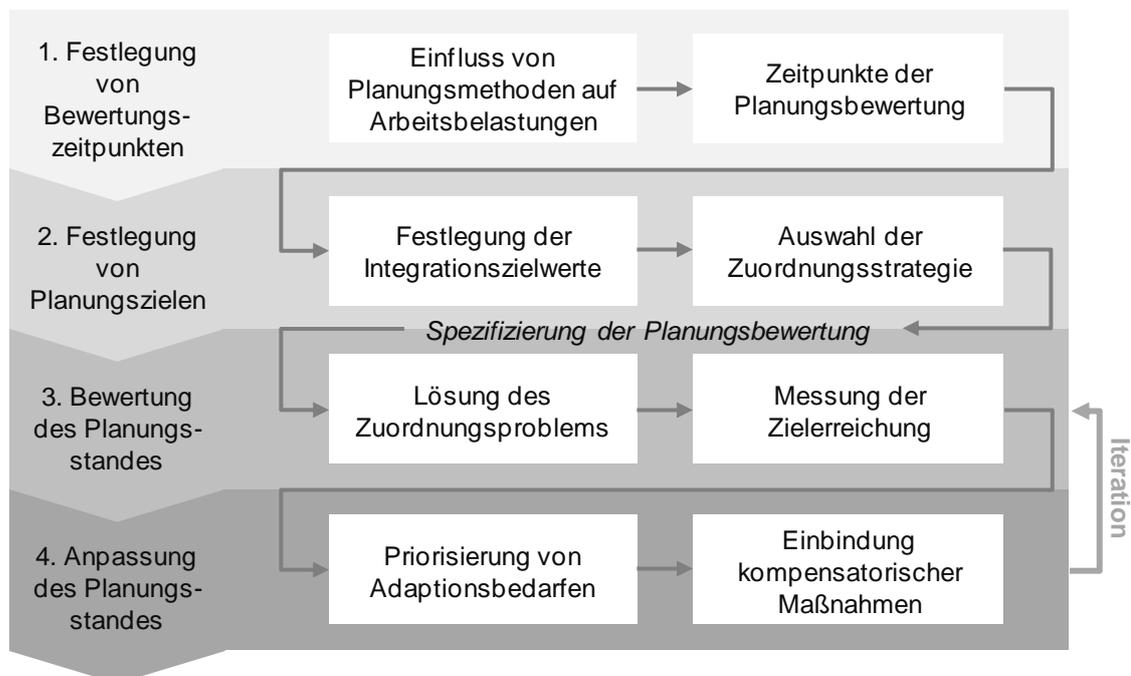


Abbildung 25: Ablauf der entwickelten Methodik

Im Folgenden wird die Methodik zur Identifikation und Adaption von Arbeitsplätzen für leistungsgewandelte Mitarbeiter entlang des Montageplanungsprozesses beschrieben. Für jede Teilmethode werden relevante Einflussfaktoren vorgestellt und deren Berücksichtigung erläutert. Im Anschluss wird jeweils der Ablauf der resultierenden Methode beschrieben.

5.2 Festlegung von Bewertungszeitpunkten

5.2.1 Einfluss von Planungsmethoden auf Arbeitsbelastungen

Die Einsetzbarkeit Leistungsgewandelter hängt über die ergonomische Gestaltung hinaus von Belastungssituationen ab, die für andere Mitarbeiter unterkritisch sind und keine Einsatzhemmnisse darstellen. Zur Beurteilung der Integrierbarkeit von LGW sind detaillierte Belastungsinformationen so früh wie möglich während des Montageplanungsprozesses notwendig. Anders als im Ansatz nach KUGLER ET AL. (2010, S.33) ist zunächst der Zeitpunkt der Bewertbarkeit, nicht derjenige der Beeinflussbarkeit entscheidend. Daher werden im Rahmen der Methodik nicht generelle Einflussfaktoren auf die Arbeitsbelastung untersucht. Vielmehr werden die den Belastungsanalysekriterien zugrundeliegenden Attribute hinsichtlich ihrer Auslösung, Beeinflussung und Festlegung während des Planungsablaufs analysiert und so Zeitpunkte abgeleitet, zu denen der aktuelle Planungsstatus bewertet werden kann.¹⁸

Ziel ist die Ermittlung von Planungszeitpunkten, nach welchen sich die durch ein Profilvergleichskriterium erhobene Arbeitsbelastung im weiteren Planungsverlauf nicht mehr wesentlich ändert. An diesen Planungszeitpunkten bewertet der Montageplaner im weiteren Verlauf der Methodik den jeweils aktuellen Planungsstand durch planungsbegleitende Mitarbeiterzuordnung.

Für jedes Belastungsanalysekriterium existieren mehrere Zeitpunkte während der Montageplanung, zu welchen die für die Kriterienberechnung benötigten Attributwerte verändert werden (vgl. Abschnitt 4.3.3). Die Tabelle 9 zu entnehmende Differenzierung stellt Einflussarten von Planungsmethoden auf Belastungsanalysekriterien dar und ermöglicht die Identifikation und Bezeichnung von Einflüssen.

¹⁸ Eine exemplarische Darstellung von Profilvergleichskriterien und zugehörigen Attributen lässt sich Tabelle 22 im Anhang entnehmen.

Tabelle 9: *Einflüsse von Planungsmethoden auf Attributwerte*

Bezeichnung	Erläuterung	Beispiel
Direkte Input-Output-Beziehung	Das Attribut stellt eine direkte Ausgangsinformation einer Planungsmethode oder -phase dar.	Durch die Festlegung der Montageaustaktung und die Zuordnung von Montageprozessen zu Arbeitsplätzen erfolgt die Festlegung von zeitlich bestimmten Attributen.
Indirekte Beeinflussung von Attributen	Ein Attribut wird durch eine Planungsphase oder -methode beeinflusst, indem Lösungsräume für die spätere Festlegung eines Kriteriums eingegrenzt werden.	Die Auswahl von Verkettungs- und Fördermitteln grenzt die Möglichkeit zur sitzenden Tätigkeitsausführung ein.

5.2.1.1 Einfluss auf Attribute von Belastungsanalysekriterien

Im chronologischen Planungsverlauf stellt der erste auftretende Planungszeitpunkt, zu welchem alle Attribute eines Belastungsanalysekriteriums bewertet werden können, den Auslösungszeitpunkt dar (Tabelle 10).

Tabelle 10: *Chronologische Klassifizierung der Einflüsse von Planungsmethoden auf Belastungsanalysekriterien*

	Auslösung t_k^a	Beeinflussung t_k^b	Festlegung t_k
Häufigkeit	Einmalig	Mehrmalig möglich	Einmalig
Art der Belastungsinformation	Qualitativ	Qualitativ/ quantitativ	Quantitativ
Art des Planungsoutputs	Nebenergebnis einer Planungsmethode	Nebenergebnis einer Planungsmethode	Hauptergebnis einer Planungsmethode
Einfluss auf Arbeitsbelastung	Gibt Richtung der Arbeitsbelastung vor (hoch/niedrig)	Ändert Höhe der Arbeitsbelastung	Definiert das Belastungsniveau abschließend

In der frühen Phase der Montageplanung werden Produktanalysen durchgeführt und auf Basis von Produktinformationen Prozesszeiten für die Ausführung von Montageprozessen ermittelt. Vornehmlich werden in dieser Phasen die Belastungsrichtung und -dauer beeinflusst. Die Festlegung der Montagestruktur für das Abgassystem von Automobilen findet etwa in der frühen Phase eines Montageplanungsprojektes statt. Die Entscheidung über grundsätzliche Strukturalternativen

wie beispielsweise die Einrichtung von Schwenkmontagen und die erste Zuordnung von Prozessen zu Arbeitsplätzen beeinflussen das Vorkommen von Arbeiten über Schulterhöhe und die Dauer entstehender Belastungen.

Die Höhe der Arbeitsbelastung wird hingegen mit fortschreitender Planung durch weitere Planungsmethoden beeinflusst, wodurch sich das Anforderungsniveau an einem Arbeitsplatz bezüglich eines Kriteriums kontinuierlich ändert oder gar Arbeitsplätze entfallen oder dem jeweils aktuellen Planungsstand hinzugefügt werden. Planungsmethoden als Bestandteil des Planungsvorgehens dienen einem gezielten Anwendungszweck und lassen in frühen Planungsphasen tendenziell qualitative Belastungsaussagen zu. Mit zunehmendem Planungsfortschritt sind vermehrt quantitative Aussagen möglich. So beeinflusst die konkrete technische Ausgestaltung die Belastungshöhe der Arbeiten über Schulterhöhe.

Als letzte für ein Profilvergleichskriterium relevante Planungsmethode lässt sich die festlegende Methode definieren, die mit ihrem einmaligen Auftreten die endgültige Höhe einer Kriterienausprägung festlegt und von zentraler Bedeutung für einen späteren Vergleich von Leistungswandlungen und Arbeitsbelastungen ist. Sowohl Belastungshöhe als auch Belastungsdauer liegen nach Abschluss dieser Methode in quantitativ bewertbarer Form vor. Zwischen Auslösung und endgültiger Festlegung steht der Wert jedes Profilvergleichskriteriums zumeist in Verbindung mit weiteren Planungsmethoden. Diese wirken schwach beeinflussend und ändern vorwiegend die Höhe einer Kriterienausprägung. Im Beispiel der Schwenkmontage von Abgassystemen beeinflusst der Neigungswinkel die Arbeitshöhe und verändert damit die entstehende Arbeitsbelastung, wohingegen das grundsätzliche Vorhandensein von Arbeiten über Schulterhöhe keine Änderung erfährt.

5.2.1.2 Einfluss auf Belastungsanalysekriterien

Abbildung 26 verdeutlicht exemplarisch für ein mittels dreier Attribute berechenbares Belastungsanalysekriterium k den Zusammenhang zwischen der Beeinflussung von Attributen und der Beeinflussung des auf Attributwerten basierenden Belastungsanalysekriteriums.

Die mit t_k^a und t_k^b gekennzeichneten Planungszeitpunkte sind durch im weiteren Planungsverlauf veränderliche Attributwerte gekennzeichnet. Daher sind zu diesen Zeitpunkten keine Bewertungen des Planungsstandes, sondern nur präventive und prospektive ergonomische Maßnahmen durchführbar. Da zum Zeitpunkt t_k erstmals quantitativ auswertbare Daten mit hohem Detaillierungsgrad und geringer

Datenunschärfe bezüglich auftretender Belastungen vorliegen, ist erst dieser Zeitpunkt für die Bewertung bzgl. k geeignet.

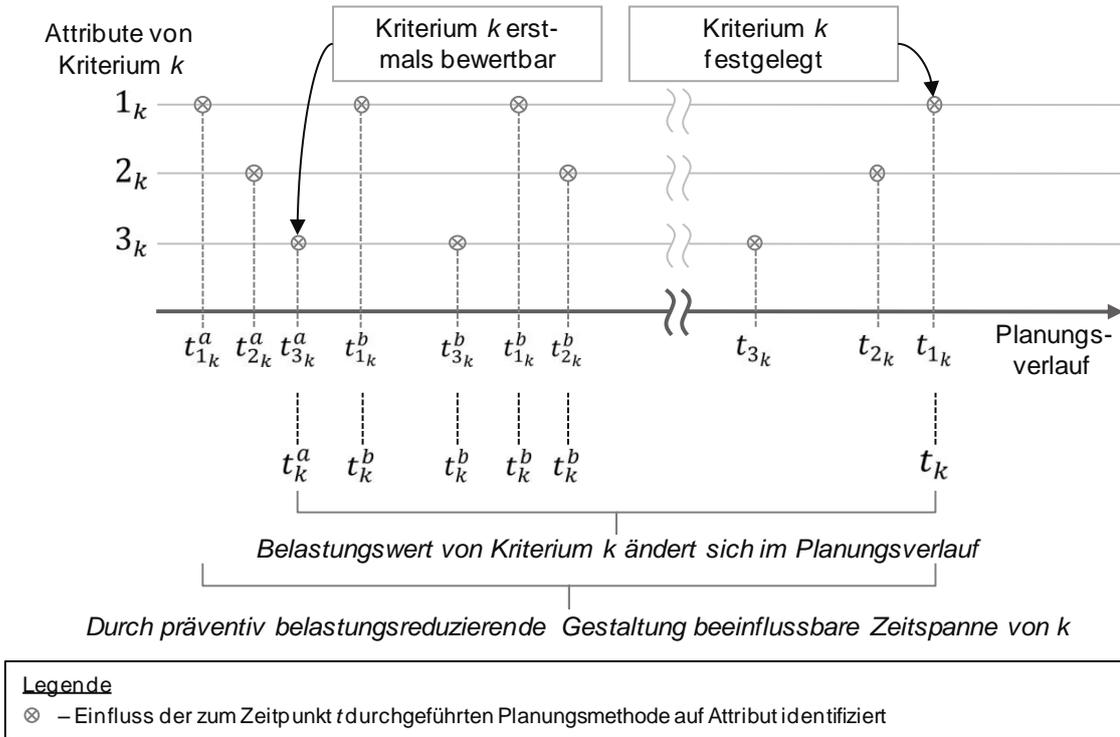


Abbildung 26: Zusammenhang zwischen der Attributbeeinflussung und dem Bewertungszeitpunkt eines Belastungsanalysekriteriums

5.2.1.3 Abgeleitete Arten von Bewertungszeitpunkten

Im Hinblick auf eine mögliche Anpassung des Planungsstandes lassen sich zwei Arten von Bewertungszeitpunkten unterscheiden, die wiederum unterschiedliche Anpassungsarten nach sich ziehen.

Die Zeitpunkte der planungsbegleitenden Bewertung sind charakterisiert durch eine nicht vollständige Datenlage für die Gesamtanzahl an Profilvergleichskriterien. Es kann jeweils nur eine Teilmenge an belastungsseitig feststehenden Profilvergleichskriterien zur Bewertung des Planungsstandes herangezogen werden, während weitere Arbeitsbelastungen nicht abschließend bekannt sind.

Zum Zeitpunkt der abschließenden Bewertung des Planungsstandes hingegen liegen für alle Profilvergleichskriterien die als unveränderlich angenommene

Arbeitsbelastungen vor.¹⁹ Abbildung 27 stellt exemplarisch einen chronologischen Montageplanungsverlauf, ermittelte Festlegungszeitpunkte für acht Profilvergleichskriterien und abgeleitete Bewertungszeitpunkte zur Beurteilung des jeweiligen Planungsstandes dar.

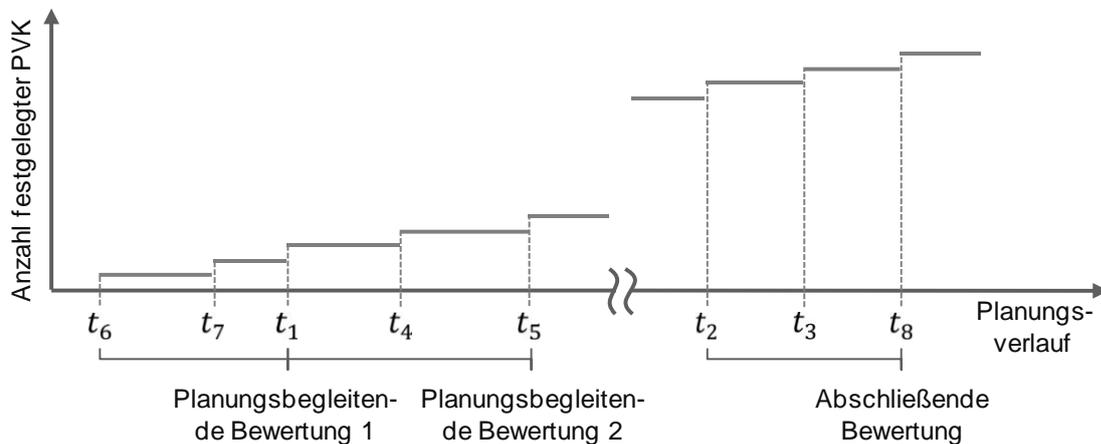


Abbildung 27: Bewertungszeitpunkte im Verlauf des Montageplanungsprozesses

5.2.2 Methode zur Festlegung von Bewertungszeitpunkten

5.2.2.1 Zielsetzung und Vorgehen

Ziel der Methode ist die Ermittlung von Planungszeitpunkten, zu welchen der aktuelle Planungsstand hinsichtlich der Integrierbarkeit von leistungsgewandelten Mitarbeitern bewertet wird. Die Anzahl an Bewertungszeitpunkten legt zudem die Anzahl an Iterationen zwischen Bewertung und Anpassung des Planungsstandes im Verlauf der Gesamtmethodik fest.

Die Zeitpunkte zur Bewertung des Planungsstandes sind für jedes Montageplanungsprojekt individuell festzulegen und hängen vom gewählten Planungsvorgehen, den Profilvergleichs- und Belastungsanalysekriterien und den zugrundeliegenden Attributen ab.

Durch die Methode wird der Einfluss von Planungsmethoden auf die mit Profilvergleichskriterien erhobenen Arbeitsbelastungen ermittelt und ausgewertet (Ab-

¹⁹ Die Implikationen dieser Bewertungszeitpunkte auf die Reihenfolge von Anpassungen werden im Detail in Abschnitt 5.5.1.1 ab S. 101 erläutert.

schnitt 5.2.2.2), um anhand eines auf quantitativen und qualitativen Analysen basierenden Vorgehens Bewertungszeitpunkte im Montageplanungsverlauf zu definieren (Abschnitt 5.2.2.3). Das methodische Vorgehen zur Festlegung von Bewertungszeitpunkten kann Abbildung 28 entnommen werden.

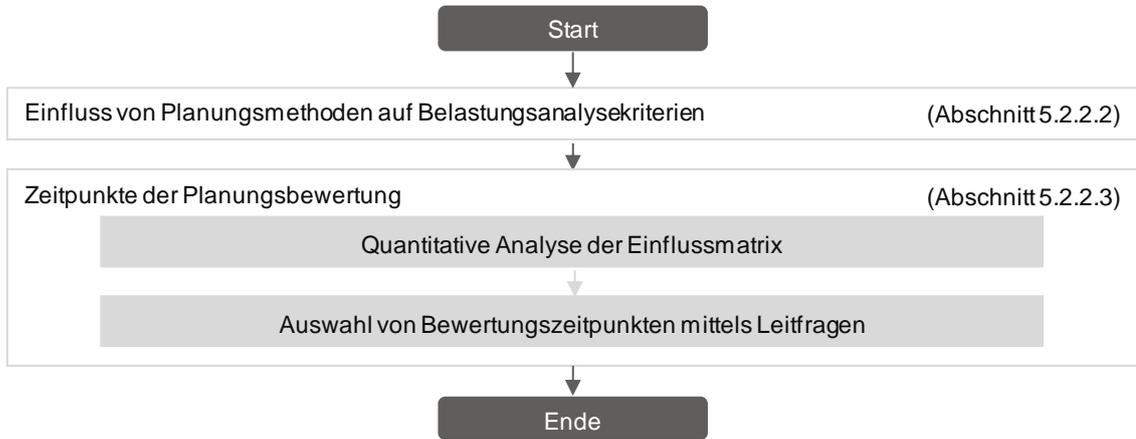


Abbildung 28: Vorgehen zur Festlegung von Bewertungszeitpunkten

5.2.2.2 Einfluss von Planungsmethoden auf Belastungsanalysekriterien

Die Eingangsinformationen für die Festlegung von Bewertungszeitpunkten bestehen aus einer Dokumentation der beim Profilvergleich eingesetzten Belastungsanalysekriterien sowie dem Planungsvorgehen in Form einer Referenzprozessmodellierung.

Zunächst wird das Belastungsanalyseverfahren analysiert, indem die zur Berechnung der Arbeitsbelastung eingesetzten Attribute, Berechnungs- und Klassifizierungsvorschriften je Belastungsanalysekriterium systematisch ermittelt werden. Im Anschluss wird das zu verwendende Referenzplanungsvorgehen auf Vollständigkeit geprüft, analysiert und dokumentiert. Danach erfolgt die iterative Überprüfung der Planungsmethoden hinsichtlich ihres Einflusses auf Attribute des Belastungsanalyseverfahrens.

Abbildung 29 verdeutlicht die Vorgehensschritte zur schrittweisen Bestimmung und Dokumentation der Einflüsse auf Basis der in Abschnitt 5.2.1 definierten Einflussarten.

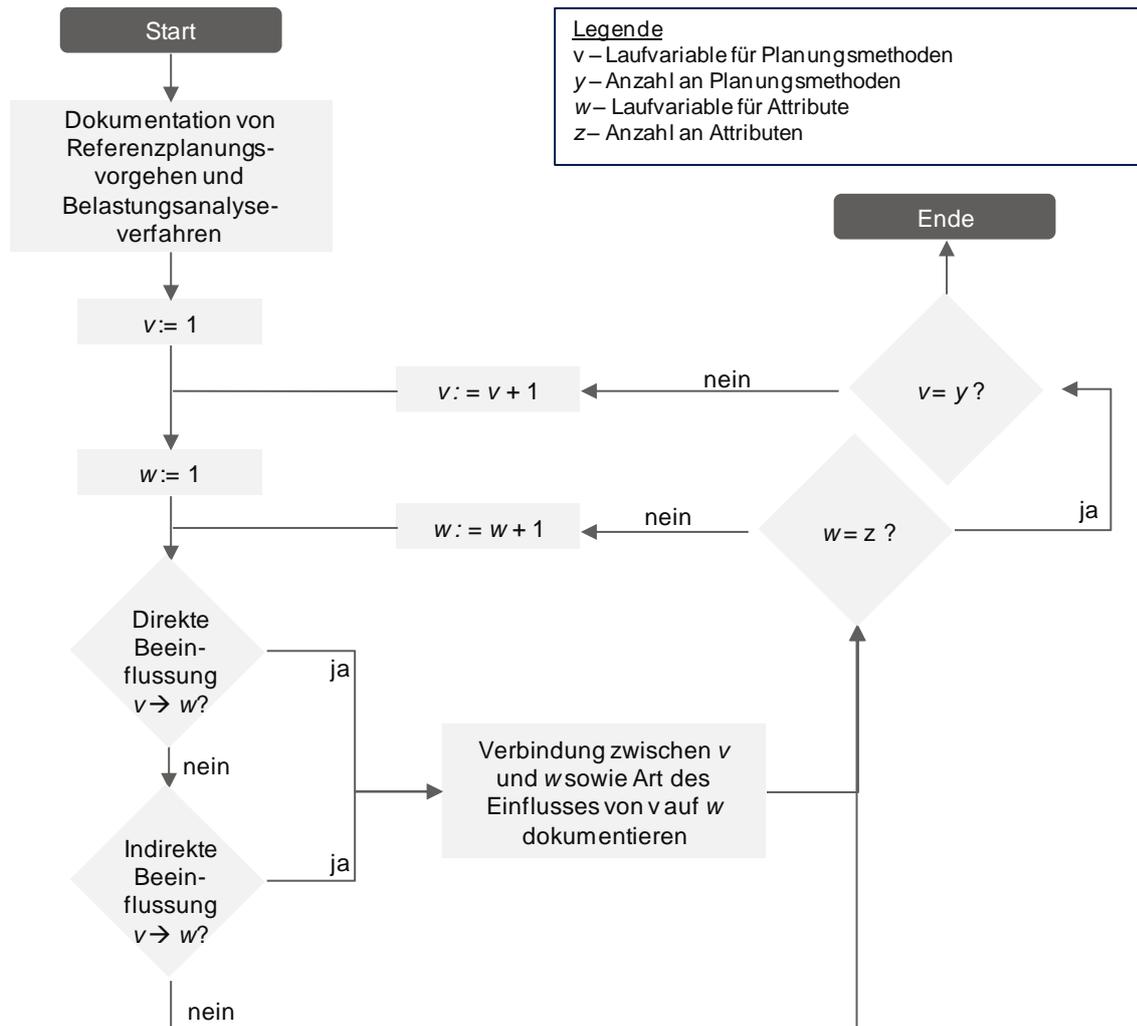


Abbildung 29: Einzelschritte zur Ermittlung des Einflusses von Planungsmethoden auf Attribute von Belastungsanalysekriterien

Identifizierte Verbindungen zwischen Attributen und Planungsvorgehen werden in eine Einflussmatrix überführt, die eine anschließende Auswahl von Planungszeitpunkten vorbereitet sowie quantitative Analysen der erkannten Zusammenhänge ermöglicht (Abbildung 30).²⁰

Da die Einflussmatrix den chronologischen Ablauf von Planungsmethoden enthält, können auf Basis der Verbindungen Beeinflussungszeiträume für einzelne Attribute sowie für Belastungsanalysekriterien ermittelt werden. Auf Basis dieser Informationen wird für jedes Belastungsanalysekriterium k der Festlegungszeitpunkt

²⁰ Eine Einflussmatrix wird typischerweise während der Analysephase von strategischen Planungsprozessen eingesetzt und dient zur visuellen Darstellung komplexer Zusammenhänge (VETTER 2011). Der Denkansatz der Einflussgrößenanalyse lässt sich HABERFELLNER ET AL. (1997, S. 115 ff.) entnehmen.

t_k bestimmt, zu welchen die Arbeitsbelastung als abgesichert beurteilbar, da im weiteren Planungsverlauf nicht weiter veränderlich eingestuft werden kann.

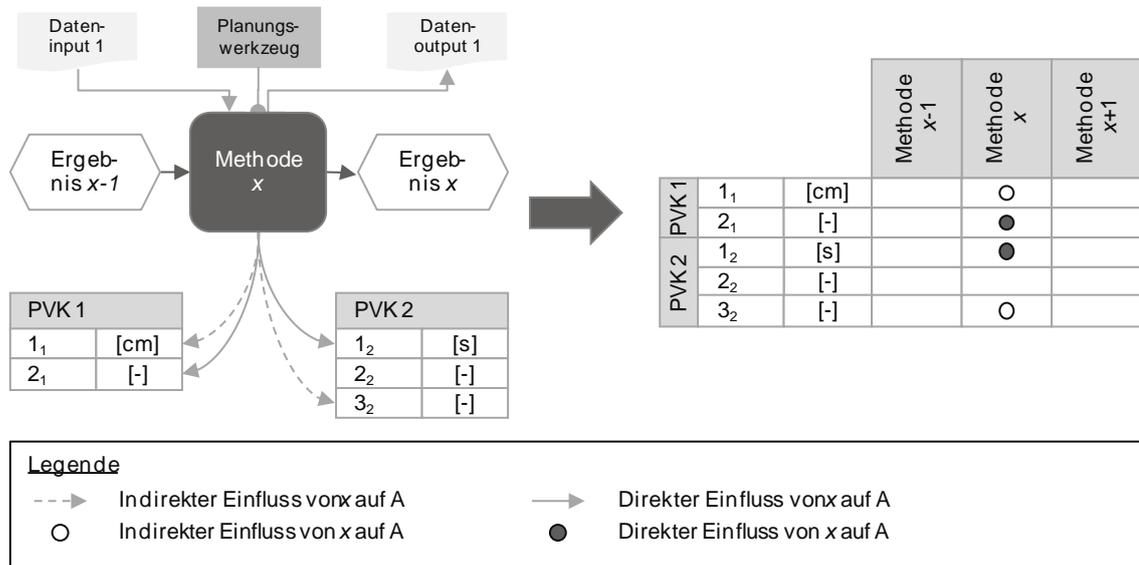


Abbildung 30: Überführung identifizierter Einflüsse in eine Einflussmatrix

5.2.2.3 Zeitpunkte der Planungsbewertung

Ziel des nächsten Schrittes der Methode ist die Festlegung der Bewertungszeitpunkte. Das Vorgehen gliedert sich in die quantitative Analyse des Einflusses von Planungsmethoden auf Arbeitsbelastungen und die anschließende Festlegung von Bewertungszeitpunkten auf Basis der quantitativen Ergebnisse und qualitativ formulierten Leitregeln. Als Eingangsinformationen liegen die Einflussmatrix sowie abgeleitete Bewertungszeitpunkte auf Kriterien- und auf Attributebene vor.

Der Einfluss von Planungsmethoden auf die durch Profilvergleichskriterien erhobenen Arbeitsbelastungen und damit auf die Einsetzbarkeit Leistungsgewandelter wird durch Auswertung der absoluten und relativen Einflusshäufigkeiten je Planungsmethode quantifiziert. Die in Abbildung 31 dargestellten Auswertungen bieten neben einsatzrelevanten Informationen für Leistungsgewandelte zusätzliche Fokussierungsmöglichkeiten zur Erhöhung der ergonomischen Gestaltungsgüte. Diese umfassen relevante Planungszeitfenster nach PVK, nach Attribut und nach Art der Attribute. Anhand der Anzahl und Verteilung der in Tabelle 8 (S. 66) dargestellten Zeitpunkte kann die absolute und relative Bedeutung von Planungsmethoden für Profilvergleichskriterien ermittelt werden. Die absolute Bedeutung von Planungszeitpunkten wird in einem Histogramm ausgewertet, in welchem Planungsmethoden und ihre chronologische Abfolge die Klassen des Histogramms

auf der Abszissenachse sowie die Anzahl an ermittelten Einflüssen auf Attribute die Ordinatensachse darstellen (vgl. Abbildung 31). Damit hängt die Struktur des Histogramms von den verwendeten Eingangsinformationen, Planungsvorgehen und Belastungsanalyseverfahren, ab und ist für den konkreten Anwendungsfall unternehmens- und planungsprojektspezifisch aufzustellen.

Da beide Eingangsinformationen ebenfalls Auswirkungen auf die Einflusshäufigkeit und damit die Art der Häufigkeitsverteilung besitzen, sind zur Festlegung eines hohen bzw. niedrigen relativen Einflusses von Planungsmethoden geeignete Klassifizierungsansätze einzusetzen (etwa eine ABC-Analyse im Falle Paretoverteilter Einflusshäufigkeiten).

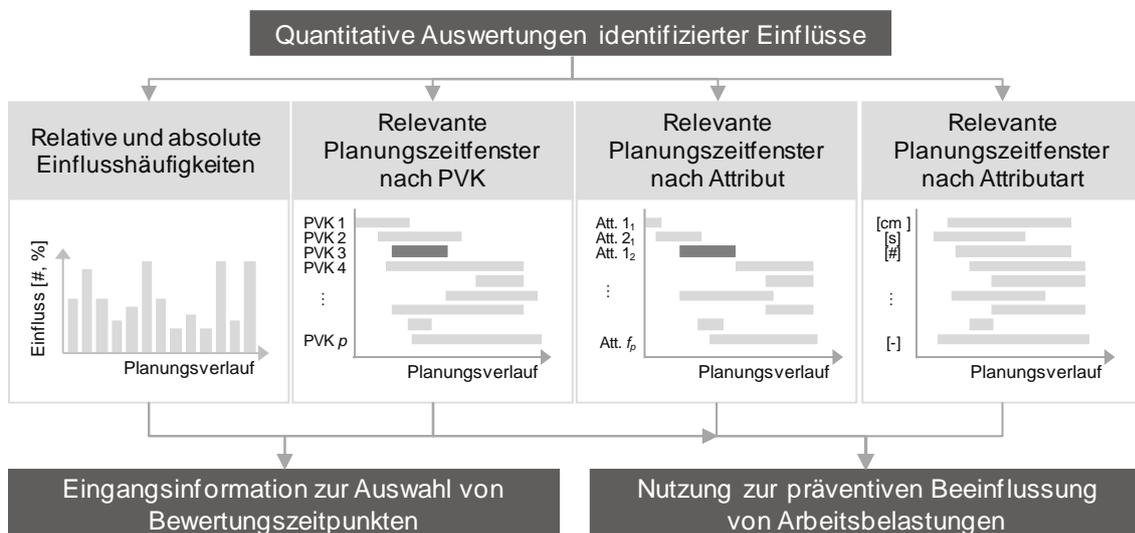


Abbildung 31: Quantitative Auswertungen identifizierter Einflüsse

Die absolute und relative Bedeutung von Planungsphasen und -methoden stellt einen wesentlichen Einflussfaktor auf die Festlegung von Bewertungszeitpunkten dar und kann zudem zur präventiven Beeinflussung von Arbeitsbelastungen genutzt werden. Relevante Planungszeitfenster je Belastungsanalysekriterium sowie je Attribut und nach Art des Attributes präzisieren diese Datenbasis: Ergeben sich in der Analyse der Mitarbeiterfähigkeiten signifikante Häufungen von Leistungswandlungen, kann der Interventionszeitraum zur präventiven und zur prospektiven ergonomischen Gestaltung bei einer Profilvergleichskriterienbetrachtung auf das jeweilige Planungszeitfenster $[t_k^a; t_k]$ und bei einer attributsbezogenen Betrachtung auf das jeweilige Planungszeitfenster $[t_{l_k}^a; t_{l_k}]$ eingegrenzt werden.

Da für jedes Einzelkriterium ein einzelnes Planungszeitfenster ableitbar ist, lassen detaillierte Untersuchungen nach Art des Einzelkriteriums die Ableitung von

Planungsschwerpunkten für eine präventive Belastungsreduktion und unter Anwendung mikroergonomischer Instrumente zu.

Die Festlegung von Bewertungszeitpunkten erfolgt im Anschluss an die quantitative Analyse ermittelter Einflüsse und nutzt die Analyseergebnisse in Verbindung mit qualitativ formulierten Leitregeln, welche gewünschte Charakteristika von Bewertungszeitpunkten widerspiegeln (Tabelle 11). Für die Festlegung von Zeitpunkten der Planungsbewertung werden ermittelte Bewertungszeitpunkte jedes Einzelkriteriums mittels der Leitfragen so zusammengefasst, dass der Bewertungsaufwand und der durch die Bewertung gewonnene Nutzen in einem zweckdienlichen Verhältnis stehen.

Tabelle 11: Leitregeln zur Identifikation von Bewertungszeitpunkten

Nr.	Leitregel
1	Sofern mindestens ein Belastungsanalysekriterium bewertbar ist, soll eine Bewertung des Planungsstandes während der Konzeption des Montagesystems erfolgen.
2	Bewertungszeitpunkte sollen so gelegt werden, dass die Attributwerte für festgelegte Profilvergleichskriterien aus bestehenden Datenquellen erhebbar sind.
3	Nach Planungsmethoden mit hohem relativen Einfluss soll eine Bewertung durchgeführt werden, wenn mittels dieser Planungsmethode mindestens ein zusätzliches Profilvergleichskriterium festgelegt wurde.
4	Nach Planungsmethoden mit geringem relativen Einfluss soll nur dann eine Bewertung des Planungsstandes durchgeführt werden, wenn mittels dieser Planungsmethode mehr als ein zusätzliches Profilvergleichskriterium festgelegt wird.

Da die Personaleinsatzbarkeit mit Profilvergleichsverfahren anhand einer Vielzahl möglicher Belastungsanalysekriterien erhoben wird, ist eine theoretisch weitgehend kontinuierliche Bewertung des Planungsstandes möglich. Die Leitregeln berücksichtigen daher das Verhältnis aus Kosten und Nutzen einer Bewertung für die Methodikanwendung: Aufgrund begrenzter Planungskapazitäten, dem zusätzlichen Planungsaufwand und zeitgleichen Bewertungen mehrerer Kriterien ist eine Fokussierung auf ausgewählte Planungsphasen und -methoden sinnvoll. Für den Profilvergleich und die anschließende Bewertung des Planungsstandes ist die Erhebung aktueller Belastungsdaten jedes der bis zum jeweiligen Planungszeitpunkt definierten Profilvergleichskriterien notwendig.

Der hohe Einfluss früher Planungsphasen auf spätere Arbeitsbelastungen (vgl. BURNS & VICENTE 2000, S. 81; HENDRICK 2003; NEUMANN 2004, S. 62; KISTLER

ET AL. 2006, S. 30; SCHLICK ET AL. 2010, S. 1131) führt zur Notwendigkeit, mindestens eine Planungsbewertung während der Montagekonzeption durchzuführen. Zugehörige Profilvergleichskriterien beschränken sich aufgrund der unvollständigen Datenlage und nicht feststehender Arbeitsplatzgestaltungen auf zeitdatenbasierte Bewertungen, stellen jedoch einen nicht unwesentlichen Einflussfaktor auf die Einsatzsituation Leistungsgewandelter dar. Da viele Belastungsanalysekriterien eng mit der eigentlichen Arbeitsplatzgestaltung verknüpft sind, erfolgt eine Bewertung zudem im Anschluss an diese Phase.

Die erste Leitregel adressiert diese frühzeitige Bewertung des Planungsstandes, da vor allem frühe Planungsphasen einen hohen, aber schwer zu quantifizierenden Einfluss auf die Belastungssituation aufweisen (NEUMANN 2004, S. 62). So beeinflusst etwa die Auswahl alternativer Systemstrukturen und die Kapazitätsteilung die sich ergebende Taktbindung an Montagearbeitsplätzen. Leistungswandlungen mit Bezug zur Taktbindung nehmen bei alternden Belegschaften einen relativ hohen Stellenwert ein (vgl. Abbildung 9, S. 20). Daher sollte ein die Taktbindung beschreibendes Kriterium möglichst frühzeitig bewertet werden, um tiefgreifende Änderungen des Montagekonzeptes im weiteren Verlauf des Planungsprozesses zu vermeiden.

Die zweite Leitregel vermeidet unverhältnismäßigen Zusatzaufwand für die Sammlung, Analyse und Aufbereitung von Belastungsinformationen während der Montageplanung und ermöglicht eine Synchronisation mit ergonomischen Quality Gates, die innerhalb eines PEP durchlaufen werden müssen. Leitregel drei dient der Bewertung des Planungsstandes im Anschluss an Planungsmethoden, welche weitreichende Arbeitsbelastungen festlegen. Die vierte Leitregel vermeidet eine zu große Häufigkeit bei der Sammlung, Analyse und Aufbereitung von Belastungsinformationen während der Montageplanung und bietet die Möglichkeit, mehrere festlegende Planungsmethoden zu einem Bewertungszeitpunkt zusammenzufassen.

5.2.2.4 Ergebnisse der Methode

Die Methode zur Festlegung von Bewertungszeitpunkten erhöht die Transparenz hinsichtlich der Beeinflussung von Arbeitsbelastungen durch die Montageplanung. Als Ergebnis liegen quantitative Beeinflussungsanalysen vor. Durch Abgleich mit häufig auftretenden Leistungswandlungen innerhalb der vorliegenden

Belegschaft können Planungsmethoden zudem zur präventiven und prospektiven Beeinflussung des Planungsstandes priorisiert werden.²¹

Die festgelegten Bewertungszeitpunkte stellen eine notwendige Eingangsinformation für den sich anschließenden Ablauf der Methodik dar, weil die Anzahl an Bewertungszeitpunkten die Anzahl an Iterationen zwischen Bewertung und Anpassung festlegt.

5.3 Festlegung von Planungszielen

5.3.1 Planungsziele und Zuordnungsstrategien

Abgeleitet von der Zielsetzung der Arbeit, leistungsgewandelten Mitarbeitern bereits während der Montageplanung geeignete Arbeitsplätze zur Verfügung zu stellen, bestehen primäre Planungsziele einerseits in einem hohen Anteil einsetzbarer Leistungsgewandelter im gesamten geplanten Montagesystem. Andererseits wird eine hohe Flexibilität bei der Zuweisung von Leistungsgewandelten zu Arbeitsplätzen im Systembetrieb angestrebt, um die Konzentration dieser Mitarbeiter auf Nebenlinien oder Schonarbeitsplätze zu vermeiden und Job Rotation zu ermöglichen.

Die Zielerreichung und der entstehende Aufwand für die Anpassung der aktuell geplanten Systemstruktur hängen bei einer vorhandenen Belegschaft von den Arbeitsbelastungen und der Vorgehensweise bei der Zuordnung von leistungsgewandelten Mitarbeitern zu Arbeitsplätzen ab. Sekundäre Planungsziele adressieren daher den Aufwand, der zur Erreichung der primären Zielsetzungen durch den Ausgleich von Fähigkeits- und Belastungsniveau entsteht. Sie drücken die mit einem Systemzustand erreichbare Nutzung vorhandener Fähigkeiten von Leistungsgewandelten aus. Aus diesen sekundären Zielsetzungen wird das Vorgehen bei der Zuordnung von Mitarbeitern zu Arbeitsplätzen abgeleitet.

Aufgabe des Montageplaners ist im Rahmen der Methodik die Festlegung von Zielwerten für den Integrationsgrad und die Einsatzflexibilität sowie die Auswahl

²¹ Diese werden im weiteren Verlauf der vorliegenden Arbeit nicht hinsichtlich einzusetzender Instrumente spezifiziert, weil sie Inhalt bestehender mikroergonomischer Belastungsanalyseverfahren sind, welche über das Belastungsscreening hinausgehen (vgl. Abschnitt 3.2.1). Beispielhaft kann zur Bewertung der Alterskritikalität die Prozessbewertungsmethodik nach KEIL ET AL. (2010) und KEIL & SPANNER-ULMER (2012) verwendet werden.

einer mit den jeweiligen Unternehmens- und Planungsprojektzielen einhergehenden Zuordnungsstrategie. Wirtschaftlich sinnvolle Zielwerte hängen von einer Vielzahl an projektspezifischen Charakteristika ab. Grundsätzlich sollte ein möglichst hoher Integrationsgrad und eine möglichst hohe Einsatzflexibilität angestrebt werden.

5.3.1.1 Primäre Zielsetzungen

Der Grad der Integrierbarkeit Leistungsgewandelter I_t (syn. Integrationsgrad) drückt den Anteil der zum aktuellen Planungsstand ohne weitere Adaptionen im projektierten Montagesystem einsetzbaren leistungsgewandelten Mitarbeiter der zu betrachtenden Belegschaft aus. Der Integrationsgrad stellt die Leistungswandlungen der Belegschaft in direkte Relation zur zukünftigen Gestaltung des Montagesystems:

$$I_t = \frac{|N_{2i}^t|}{|N_2|} \quad (11)$$

Der Integrationsgrad wird im Zielsystem des Montageplanungsprojektes mit dem Zielwert \bar{I} verankert und an den zuvor ermittelten Bewertungszeitpunkten berechnet.

Die Einsatzflexibilität innerhalb der Gruppe Leistungsgewandelter beurteilt die Wirksamkeit durchgeführter Anpassungen auf Systemebene und damit unabhängig von einem fokussierten Mitarbeiter, für welchen die Anpassungen durchgeführt wurden. Ziel ist eine hohe Anzahl an Arbeitsplätzen im Gesamtsystem, an welchen ein leistungsgewandelter Mitarbeiter eingesetzt werden kann. Nach KRATZSCH (2000, S. 93) ist die Personaleinsatzflexibilität aus Qualifikationssicht abhängig von der Anpassungsfähigkeit eines Montagemitarbeiters an sich ändernde Montagetätigkeiten. Sie berechnet sich mitarbeiterindividuell „als Anteil der von ihm ohne Einarbeitungsverluste beherrschten Tätigkeiten an dem insgesamt vorhandenen Tätigkeitsspektrum des betrachteten Montagesystems“. Diese Definition aus Qualifikationssicht wird auf Leistungswandlungen übertragen.

Die mitarbeiterbezogene Einsatzflexibilität $F_{i,t}^M$ gibt im Kontext der entwickelten Methodik die Anzahl an Arbeitsplätzen an, an welchen ein leistungsgewandelter Mitarbeiter ohne Anpassung des Arbeitsplatzes eingesetzt werden kann:

$$F_{i,t}^M = |\{j | c_{ijk,t} \geq 0 \forall k \in P\}| \quad (12)$$

Die Einsatzflexibilität leistungsgewandelter Mitarbeiter auf Gesamtsystemebene F_t^M stellt den Durchschnitt der mitarbeiterindividuellen Einsatzflexibilitäten dar und gibt somit die durchschnittliche Anzahl an Arbeitsplätzen wieder, die von leistungsgewandelten Mitarbeitern im geplanten Montagesystem besetzt werden können. Dieser bezieht sich ausschließlich auf Mitarbeiter der Gruppe N_{2i}^t und ist folgendermaßen definiert:

$$F_t^M = \frac{\sum_{i=1}^{|N_{2i}^t|} F_{i,t}^M}{n} \quad (13)$$

Für die Einsatzflexibilität wird analog zum Integrationsgrad der Zielwert $\overline{F^M}$ im Zielsystem des Planungsprojektes verankert. Bei Unterschreitung der festzusetzenden Zielwerte für Primärziele wird die Arbeitsbelastung im aktuellen Planungsstand gezielt durch Einbringung geeigneter kompensatorischer Maßnahmen verändert (vgl. Abschnitt 5.5).

5.3.1.2 Einflüsse auf die Festlegung primärer Zielwerte

Zur Bewertung des Planungsstandes werden die definierten Integrationszielwerte im Anschluss an die Mitarbeiterzuordnung hinsichtlich ihrer Erfüllung überprüft. Für den Integrationsgrad und die Einsatzflexibilität wird jeweils eine untere Grenze in Abhängigkeit der im Folgenden beschriebenen Einflussfaktoren festgelegt (Abbildung 32).

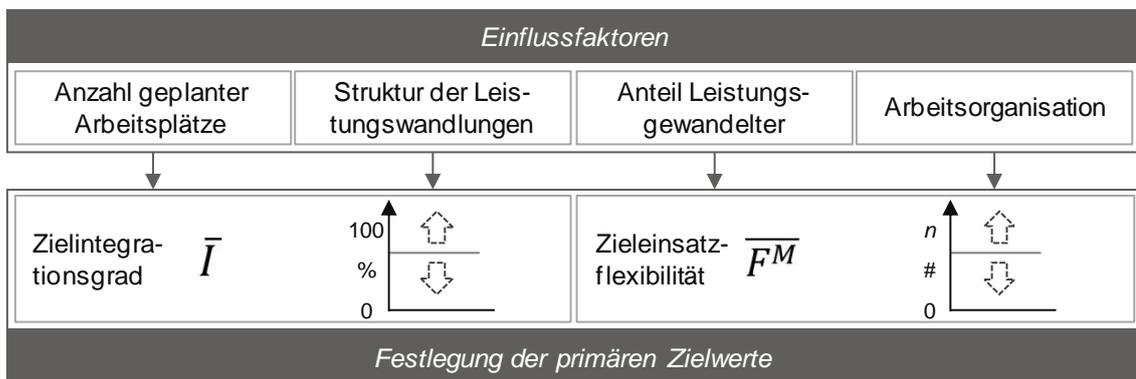


Abbildung 32: Relevante Einflussfaktoren auf die Zielwertfestlegung

Anzahl geplanter Arbeitsplätze

Integrationsgrad und Einsatzflexibilität sind direkt abhängig von der geplanten Anzahl an Arbeitsplätzen im Montagesystem. Zum Verhältnis zwischen der Anzahl zur Verfügung stehender Mitarbeiter und den projektierten Arbeitsplätzen lassen sich die in Tabelle 12 dargestellten Fallunterscheidungen treffen.

Tabelle 12: Einfluss der Anzahl geplanter Arbeitsplätze auf die Festlegung von Zielwerten

Fall	Verhältnis	Implikationen
1	$m < n$	Nicht jeder Mitarbeiter kann einem Arbeitsplatz zugeordnet werden.
2	$m > n$	Jeder Mitarbeiter kann einem Arbeitsplatz zugeordnet werden. Durch Lösung des Zuordnungsproblems findet keine Mitarbeiterselektion statt.
3	$m = n$	Analog zu Fall 2 gilt, dass für jeden Mitarbeiter ein Arbeitsplatz zur Verfügung steht.

In der Praxis tritt der erste Fall tritt aufgrund von Rationalisierungen beim Einsatz eines neuen oder umgeplanten Montagesystems im Vergleich zur vorherigen Systemgeneration am häufigsten auf: Nicht jeder derzeit eingesetzte Mitarbeiter kann im neuen Montagesystem einen Arbeitsplatz erhalten. Im zweiten Fall stehen mehr Arbeitsplätze als derzeit vorhandene Mitarbeiter zur Verfügung. Ein Integrationsgrad von 100 % für leistungsgewandelte Mitarbeiter ist erreichbar. Arbeitsplatzanpassungen für Mitarbeiter der Menge N_{2n}^t hängen vom Adaptionaufwand und -umfang ab. Dies gilt analog auch für den dritten Fall.

Struktur der Leistungswandlungen

Auch bei gleichbleibender Belegschaft unterliegen die Art und die Anzahl benötigter Arbeitsplätze einem kontinuierlichen Wandel, da alternsbedingte und reversible Leistungswandlungen, Mitarbeiterfluktuation und Fehlzeiten den entsprechenden Arbeitsplatzbedarf beeinflussen.

Bestehende Ansätze zur Ermittlung der Anzahl benötigter Arbeitsplätze für leistungsgewandelte setzen Anwesenheits-, Allokations- und Latenzfaktoren ein: Durch Ermittlung des Anteils einsatzkritischer leistungsgewandelter und Altersstrukturprognosen werden zudem zukünftige Belegschaftsentwicklungen antizipiert und zur Korrektur von Arbeitsplatzbedarfen herangezogen (BOGUS & DORN 2010). Alters- und Personalstrukturprognosen bilden für Produktionsbereiche mit einer großen Anzahl an Mitarbeitern stark aggregierte Entwicklungen ab. Leis-

tungswandlungen werden jedoch anhand einer Vielzahl von Profilvergleichskriterien beschrieben und lassen sich auf individueller Ebene aufgrund unzureichender Belastungs-Schädigungsmodelle nicht zufriedenstellend prognostizieren (REINHART ET AL. 2009A). Zudem besitzen disaggregierte Prognosen, im vorliegenden Fall auf Ebene einzelner Profilvergleichskriterien, eine höhere Ungenauigkeit als aggregierte (NEUMANN 1996).

Korrekturfaktoren werden daher im Folgenden nicht verwendet, da sie sich auf die Montagebelegschaft als Gesamtheit, nicht aber hinreichend präzise auf den einzelnen Mitarbeiter beziehen lassen. Liegen seitens des Personalwesens und den betriebsärztlichen Diensten detaillierte Prognosen vor, wird der Planungsstand mit diesem alternativen Belegschaftsszenario bewertet.

Anteil Leistungsgewandelter

Ein hoher Anteil leistungsgewandelter Mitarbeiter innerhalb einer Belegschaft führt zu einem steigenden Anpassungsaufwand für die Erreichung hoher Integrationsgrade und Einsatzflexibilitäten: Während, abhängig von der insgesamt vorliegenden Anzahl an geeigneten Arbeitsplätzen, erste Mitarbeiter der Menge N_{2n}^t mit aufwandsarmen Anpassungen integrierbar sind, so steigt dieser Aufwand bei jedem zusätzlich hinzuzufügen Mitarbeiter überproportional an.

Arbeitsorganisation

Die Berücksichtigung systematischer Job Rotation-Zyklen führt zu einem hohen Bedarf an Einsatzflexibilität sowohl die Anzahl als auch die räumliche Aggregierbarkeit geeigneter Arbeitsplätze innerhalb eines Zyklus betreffend. Je kleinere Job Rotation-Zyklen bei der arbeitsorganisatorischen Systemauslegung vorgesehen werden, desto geringer kann die Anzahl möglicher Arbeitsplätze je leistungsgewandeltem Mitarbeiter ausfallen.

5.3.1.3 Sekundärziele und abgeleitete Zuordnungsstrategien

Der Integrationsgrad und die Einsatzflexibilität hängen neben den vorherrschenden Arbeitsbelastungen und dem Umfang der Planungsanpassungen von der Vorgehensweise bei der Zuordnung von Mitarbeitern zu Arbeitsplätzen ab. Je nach verfolgter Unternehmensstrategie, Produkt, wirtschaftlichen und technischen Zielsetzungen sowie weiteren Charakteristika des Planungsprojektes können sich sekundäre Integrationsziele unterscheiden und sind daher individuell für jedes Planungsprojekt auszuwählen. Von Unternehmen und Mitarbeitern gleichermaßen

verfolgte Ziele bestehen in der Wirtschaftlichkeit und Effizienz zukünftiger Montagesysteme: Wird ein leistungsgewandelter Mitarbeiter einem Arbeitsplatz trotz negativer Eignungskoeffizienten zugeordnet, so sind am jeweiligen Arbeitsplatz belastungsreduzierende Maßnahmen in den Planungsstand einzubinden, die zusätzlichen personellen, finanziellen und technischen Ressourcenbedarf nach sich ziehen. Die Identifikation und Anpassung von Arbeitsplätzen für Leistungsgewandelte ist dann aufwandsarm, wenn zur Erreichung der gesetzten Primärziele die Anzahl an anzupassenden Arbeitsplätzen und die Anzahl anzupassender Profilvergleichskriterien im Gesamtsystem gering sind.

Die sekundär verfolgten Ziele und entsprechenden Zuordnungsstrategien sind zusammenfassend in Tabelle 13 dargestellt im werden im Folgenden erläutert.²²

Tabelle 13: Sekundärziele und abgeleitete Zuordnungsstrategien

Nr.	Sekundärziel	Zuordnungsstrategie
1	Geringe Anzahl anzupassender Arbeitsplätze	Minimierung der Anzahl an Arbeitsplätzen mit negativen Eignungskoeffizienten
2	Geringer Betrag negativer Eignungskoeffizienten	Minimierung des Betrags negativer Eignungskoeffizienten
3	Hohe Nutzung vorhandener Fähigkeiten	Minimierung des Betrags positiver Eignungskoeffizienten
4	Geringe Beanspruchung leistungsgewandelter Mitarbeiter	Maximierung des Betrags positiver Eignungskoeffizienten

Erstes Sekundärziel ist eine geringe Anzahl anzupassender Arbeitsplätze A_t^A . Zur Erreichung dieses Ziels werden Mitarbeiter so zu Arbeitsplätzen zugeordnet, dass die Anzahl an anzupassenden Arbeitsplätzen minimiert wird (zugl. Zuordnungsstrategie eins). Der Anpassungsaufwand A_t^A für Mitarbeiter der Gruppe N_{2n}^t zum Planungszeitpunkt t ist folgendermaßen definiert:

$$A_t^A = |N_{2n}^t| \quad (14)$$

Zweites Sekundärziel, welches Aussagen zum Anpassungsaufwand zulässt, ist ein möglichst geringer Betrag negativer Eignungskoeffizienten nach getätigter Zuordnung von Mitarbeitern zu Arbeitsplätzen. Die entsprechende Zuordnungsstrategie

²² Die der Problemstellung entsprechende Operationalisierung der Zuordnungsziele lässt sich Tabelle 15 und Abbildung 37 im Anhang entnehmen.

besteht darin, Mitarbeiter so zu Arbeitsplätzen zuzuordnen, dass das auszugleichende Delta zwischen Arbeitsbelastungen und Mitarbeiterfähigkeiten im Gesamtsystem minimal ausfällt (zugl. Zuordnungsstrategie zwei).

Für die Ermittlung des individuellen Anpassungsaufwands $A_{ij,t}^K$ von Mitarbeitern der Gruppe N_{2n}^t wird der mitarbeiterindividuelle Anpassungsaufwand am aktuell zugeordneten Arbeitsplatz zum Planungszeitpunkt t bestimmt:

$$A_{ij,t}^K = \sum_{k=1}^p c_{ijk,t}, \text{ für } \{j | x_{ij} = 1\} \text{ und } c_{ijk,t} < 0 \quad (15)$$

Entsprechend bestimmt sich der Adaptionaufwand A_t^K zur Integration aller Mitarbeiter der Gruppe N_{2n}^t im Gesamtsystem zum Planungszeitpunkt t :

$$A_t^K = \sum_{i=1}^{|N_{2n}^t|} A_{ij,t}^K \quad (16)$$

Neben dem Anpassungsaufwand können Mitarbeiterbeanspruchung und die Nutzung vorhandener Fähigkeiten Leistungsgewandelter abgewogen werden: Während die Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen vom wertschöpfenden Einsatz des Mitarbeiters abhängt, sind gleichzeitig Überbeanspruchungen zu vermeiden.

Fähigkeitsnutzung und Beanspruchungsreduktion werden durch das positive Delta zwischen dem Wert für die Arbeitsbelastung und dem Wert für die Leistungswandlung ausgedrückt: Ist ein Mitarbeiter bezüglich eines Profilvergleichskriteriums nicht leistungsgewandelt und wird an einem Arbeitsplatz eingesetzt, der bezüglich dieses Kriteriums keine Belastung aufweist, so werden einerseits vorhandene Fähigkeiten nicht genutzt. Andererseits kann die fehlende Beanspruchung das Auftreten zusätzlicher Leistungswandlungen verhindern.

Als drittes Sekundärziel wird daher die Nutzung vorhandener Fähigkeiten Leistungsgewandelter formuliert. Zweck der dritten Zuordnungsstrategie ist die maximale Nutzung vorhandener Mitarbeiterfähigkeiten, indem das Delta zwischen positiven Fähigkeiten Leistungsgewandelter und entsprechend geringeren Arbeitsbelastungen minimiert wird.

Das vierte Sekundärziel entspricht dem entgegengesetzten Ansatz, bereits leistungsgewandelte Mitarbeiter so einem Arbeitsplatz zuzuordnen, dass diese eine geringe Beanspruchung erfahren. Die zugehörige vierte Zuordnungsstrategie minimiert daher die erläuterte Beanspruchung.

Als Maßzahl für die dritte und die vierte Strategie wird der Grad der Fähigkeitsnutzung $G_{ij,t}^M$ für Mitarbeiter der Gruppe N_{2i}^t zum Planungszeitpunkt t herangezogen.

Dieser kann wiederum durch Kennzahlbildung auf Basis der getätigten Zuordnungen ermittelt werden. Der mitarbeiterindividuelle Nutzungsgrad ist definiert als Verhältnis zwischen den durch den zugeordneten Arbeitsplatz zum aktuellen Bewertungszeitpunkt in Anspruch genommenen Fähigkeiten und der Summe der vorhandenen Fähigkeiten:

$$G_{ij,t}^M = 1 - \frac{\sum_{k=1}^p c_{ijk,t}}{\sum_{k=1}^p a_{ik}} = \frac{\sum_{k=1}^p d_{jk,t}}{\sum_{k=1}^p a_{ik}} \text{ für } \{j | x_{ij} = 1\} \quad (17)$$

Zur Beurteilung der gesamten Fähigkeitsnutzung von leistungsgewandelten Mitarbeitern wird der durchschnittliche Fähigkeitsnutzungsgrad auf Systemebene G_t^M zum Planungszeitpunkt t eingesetzt:

$$G_t^M = \frac{\sum_{i=1}^{|N_{2i}^t|} G_{ij,t}^M}{|N_{2i}^t|} \quad (18)$$

5.3.1.4 Einflüsse auf die Auswahl der Zuordnungsstrategie

Die Auswahl der Zuordnungsstrategie besitzt starken Einfluss auf den Umfang zu tätiger Adaptionen, die Fähigkeitsnutzung und Beanspruchung sowie schließlich aus wirtschaftlichen Gründen die Umsetzbarkeit der Zuordnungen. Die im Folgenden erläuterten Einflussfaktoren sind bei der projektspezifischen Auswahl einer geeigneten Zuordnungsstrategie zu berücksichtigen (Abbildung 33).



Abbildung 33: Relevante Einflussfaktoren auf die Strategieauswahl

Planungsprojekte für Pilotmontagesysteme

Seit Beginn der 2000er Jahre setzen vornehmlich Automobilhersteller Pilotmontageketten ein, um Erfahrungen im Umgang mit alternden Belegschaften und Leistungsgewandelten zu sammeln und die Auswirkungen des demographischen Wandels auf die Montage zu bestimmen (vgl. MANN 2007; PIEPER 2010A). Die Zielsetzung eines solchen Projektes unterscheidet sich von den durch technische und wirtschaftliche Zielgrößen bestimmten regulären Montagesystemen, da der Anteil zu integrierender Leistungswandelter höher liegt und Montageplanern größere Freiheiten bei der Arbeitsplatzgestaltung eingeräumt werden.

Anteil Leistungsgewandelter

Ebenso beeinflusst der Anteil an leistungsgewandelten Mitarbeitern an der Gesamtbelegschaft die Auswahl der Zuordnungsstrategie. Ein geringer Anteil Leistungsgewandelter erleichtert die Identifikation geeigneter Arbeitsplätze. Der Integrationsfokus kann auf die Nutzung vorhandener Fähigkeiten und Reduktion entstehender Belastungen gelegt werden. Ein hoher Anteil Leistungsgewandelter führt entweder zu einer größeren Anzahl anzupassender Arbeitsplätze und einem höheren Betrag negativer Eignungskoeffizienten oder zu einem geringeren Integrationsgrad.

Anzahl geplanter Arbeitsplätze

Resultat einer geringen Anzahl geplanter Arbeitsplätze im Vergleich zur Anzahl Leistungsgewandelter ist eine starke Selektion von Mitarbeitern innerhalb der Gruppe N_2 , da hohe Integrationsgrade nur unter sehr hohem Integrationsaufwand erreichbar sind. Bei geringer Arbeitsplatzanzahl sind daher bereits zu Beginn des Planungsprojektes Alternativen im Umgang mit schwer integrierbaren Leistungsgewandelten umfassend zu bewerten, um eine ausschließlich negative Selektion zu vermeiden und fortwährende Beschäftigungsmöglichkeiten bieten zu können. Entgegengesetzt verhält sich dieser Effekt bei einer in Relation zum Anteil Leistungsgewandelter hohen Arbeitsplatzanzahl: Eine geringe negative Selektion und eine umfassendere Weiterbeschäftigung von Leistungsgewandelten ist die Folge, der Integrationsaufwand ist vergleichsweise gering.

Spektrum an Arbeitsplatztypen

Kritische Belastungen für leistungsgewandelte Mitarbeiter zeigen bei unterschiedlichen Montageorganisationsformen eine generell hohe Ähnlichkeit, während sich Belastungsintensität und Integrationshemmnisse unterscheiden (PRASCH 2010, S. 65 ff.; SINN-BEHRENDT ET AL. 2011). Unterschiedliche Organisationsformen,

Arbeitsplatztypen und ein variierendes Prozessspektrum innerhalb eines Montagesystems führen daher zu einer geringen Übertragbarkeit entwickelter Lösungen und zu einem hohen Gesamtaufwand.

Eine hohe Anzahl gleichartiger Arbeitsplatztypen, eine einheitliche Organisationsform und gering voneinander abweichende Montageprozesse hingegen fördern die Transferierbarkeit von Maßnahmen auf weitere Mitarbeiterzuordnungen und resultieren in einem geringeren Gesamtaufwand für die Maßnahmenerarbeitung und -umsetzung.

Arbeitsorganisation

Mittels Auswahl einer geeigneten Zuordnungsstrategie kann auf die Einbindung von Gruppeneinteilungen und Job Rotation-Zyklen reagiert werden: Die Berücksichtigung von Gruppeneinteilungen führt zu einer Verschlechterung des Zuordnungsergebnisses, da die Anzahl möglicher Arbeitsplätze für jeden Leistungsgewandelten eingeschränkt und Mitarbeiter innerhalb der definierten Gruppe, jedoch nicht im Gesamtsystem optimalen Arbeitsplätzen zugeordnet werden. Dies führt besonders bei einem hohen Anteil leistungsgewandelter Mitarbeiter sowie bei einer geringen Anzahl geplanter Arbeitsplätze zu einem geringen Integrationsgrad und erhöhtem Adaptionaufwand.

5.3.2 Methode zur Festlegung von Planungszielen

5.3.2.1 Zielsetzung und Vorgehen

Ziel der Methode ist die Festlegung von Zielwerten für den Integrationsgrad und die Einsatzflexibilität leistungsgewandelter Mitarbeiter sowie die Auswahl der für die Bewertung genutzten Zuordnungsstrategie (Abbildung 34).

Durch die Methode werden relevante Daten für die Zielfestlegung erhoben und konkrete Werte für die primären Planungsziele festgelegt, anhand derer über die Notwendigkeit von Anpassungen des Planungsstandes entschieden wird (Abschnitt 5.3.2.2). Im Anschluss werden die sekundären Planungsziele im Hinblick auf ihre Relevanz für das vorliegende Planungsprojekt bewertet und eine Zuordnungsstrategie ausgewählt (Abschnitt 5.3.2.3). Die Festlegung von Zuordnungsstrategie und Zielwerten ist zudem Vorbedingung für die Ableitung von quantitativen Aussagen zur aktuellen Integrierbarkeit Leistungsgewandelter während des Montageplanungsprozesses.

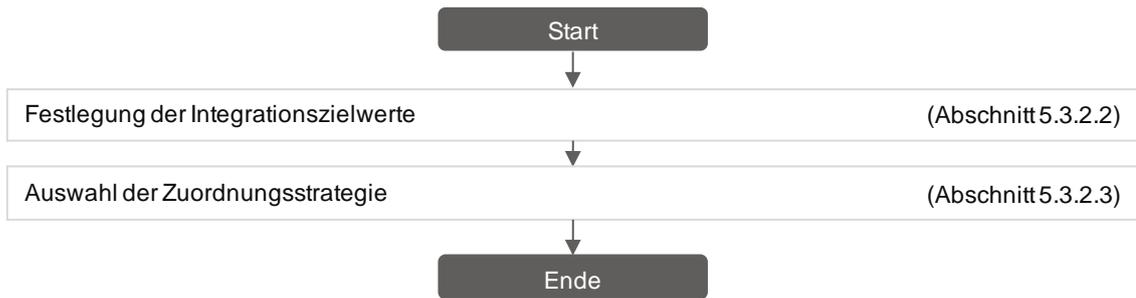


Abbildung 34: Vorgehen zur Festlegung von Planungszielen

5.3.2.2 Festlegung der Integrationszielwerte

Relevante Informationen zur Festlegung von Zielwerten für den Integrationsgrad umfassen die Anzahl geplanter Arbeitsplätze und die mit Profilvergleichssystemen erhebbaren Mitarbeiterdaten. Zur Bestimmung des Zielwertes für die Einsatzflexibilität werden zudem Präferenzen zur Größe von Job Rotation-Zyklen benötigt.²³ Zur Nutzung dieser Daten im Rahmen der Methodik sind Leistungswandlungen entsprechend dem in Abschnitt 4.3 spezifizierten Problem zu modifizieren.²⁴ Datenquellen stellen Abteilungen für Arbeitsschutz, Arbeitssicherheit, Produktionsergonomie und Industrial Engineering, betriebliche Vorgesetzte der Montagemitarbeiter und das betriebliche Gesundheitswesen sowie BEM-Verantwortliche dar.

Die Festlegung der Integrationszielwerte beginnt mit der Analyse vorliegender Leistungswandlungen hinsichtlich deren Art, Verteilung und dem in der einzusetzenden Belegschaft enthaltenen Anteil leistungsgewandelter Mitarbeiter. Als Ergebnis liegen für jedes Profilvergleichskriterium Erkenntnisse bzgl. der benötigten Anzahl zu berücksichtigender Arbeitsplätze und deren maximalen Niveaus von Arbeitsbelastungen zur vollständigen Integration aller Leistungsgewandelten vor.

Die Analyseergebnisse werden im Anschluss zur proaktiven Information im Vorfeld der Konzeptionsphase an Planungsbeauftragte übermittelt, um Art und Belastungsspezifikation benötigter Arbeitsplätze für eine vollständige Integration zu kommunizieren und so die präventive ergonomische Arbeitsplatzgestaltung zu un-

²³ Soll die Montagesystemgestaltung die Anforderungen zukünftiger Belegschaften umfassen, stellen Personalstrukturprognosen mit Fokus auf Leistungswandlungen geeignete Eingangsinformationen zur Bildung alternativer Belegschaftsszenarien dar. Auf die Verwendung dieser Prognosen wird im Folgenden zur vereinfachten Darstellung der Methodik nicht näher eingegangen.

²⁴ Diese Erhebung dient zudem als Eingangsinformation für die Spezifizierung des Zuordnungsproblems (Abschnitt 5.4.2.2).

terstützen. Eine Priorisierung oder Selektion zu berücksichtigender Leistungswandlungen findet nicht statt, da in diesem Projektstadium ausschließlich Prognosen der zu erwartenden Belastungen auf Basis des zu montierenden Produktes auf Prozessebene durchgeführt werden können. Die zukünftige Integrierbarkeit kann jedoch noch nicht anhand einzelner Profilvergleichskriterien auf Arbeitsplatzebene beurteilt werden.

Der Zielintegrationsgrad wird auf Basis der analysierten Leistungswandlungen und einer Abschätzung der zukünftigen Anzahl an Arbeitsplätzen festgelegt, indem ein aus Ober- und Untergrenze bestehendes Intervall ermittelt und auf Basis verfügbarer Planungsinformationen ein Wert aus diesem Intervall ausgewählt wird. Stehen weniger Arbeitsplätze als in der vorherigen Montagesystemgeneration zur Verfügung²⁵, ist zu beachten, dass bei zukünftig gleichem Anteil Leistungsgewandelter durch die Verkleinerung der Montagebelegschaft absolut mehr nicht leistungsgewandelte als leistungsgewandelte Mitarbeiter freigestellt werden. Dies führt zu einer geringeren Flexibilität im Personaleinsatz.

Die Basis zur Ermittlung der Untergrenze stellt der bisherige Anteil leistungsgewandelter Mitarbeiter in der Montage dar, da durch den demographischen Wandel eine Zunahme betroffener Mitarbeiter erwartet werden kann und der Status Quo Mindestanforderungen an die Integration darstellt (vgl. Abschnitt 2.3). Die Untergrenze ermittelt sich aus der Anzahl geplanter Arbeitsplätze im projektierten Montagesystem im Verhältnis zur Anzahl heutiger Arbeitsplätze. Als Obergrenze können 100 %, also die vollständige Integration aller Leistungsgewandelter, angenommen werden. Auf Basis einer Berechnung der Anzahl freistellbarer nicht leistungsgewandelter Mitarbeiter wird aus dem zuvor definierten Intervall der Zielintegrationsgrad ermittelt.

Bei gleichbleibender oder zunehmender Anzahl an Arbeitsplätzen kann hingegen ein Zielintegrationsgrad von 100 % angenommen werden: Der Anteil leistungsgewandelter Mitarbeiter verringert sich aufgrund der steigenden Anzahl an Arbeitsplätzen²⁶ bzw. bleibt gleich²⁷. Zur Besetzung aller Arbeitsplätze ist ungeachtet des Integrationsgrades für den Fall einer steigenden Arbeitsplatzanzahl internes oder unternehmensexternes Personal zu akquirieren.

²⁵ Vgl. Tabelle 12, Fall 1

²⁶ Vgl. Tabelle 12, Fall 2

²⁷ Vgl. Tabelle 12, Fall 3

Der Zielwert für die Einsatzflexibilität leistungsgewandelter Mitarbeiter wird unter Beachtung der Präferenzen zum Umfang von Job-Rotation-Zyklen festgelegt. Wie beim Integrationsgrad ist die Anzahl an geplanten Arbeitsplätzen zu berücksichtigen: Vorrangiges Ziel ist es, für jeden zu integrierenden Leistungsgewandelten mindestens einen geeigneten Arbeitsplatz zur Verfügung zu stellen. Die Untergrenze für die Einsatzflexibilität beträgt somit eins. Sollen auch Leistungsgewandelte die Möglichkeit zum Arbeitsplatzwechsel erhalten, beträgt dieser Wert mindestens zwei. Die Festlegung darüber hinausgehender Job Rotation-Zyklen ist abhängig von den Zielsetzungen des Planungsprojektes. Als Untergrenze kann die zuvor erhobene Anzahl an Arbeitsplätzen angenommen werden.

Im Anschluss an die Festlegung der Zielwerte für Integrationsgrad und Einsatzflexibilität wird unter Abschätzung der zukünftigen Anzahl an Arbeitsplätzen ermittelt, wie viele Arbeitsplätze im projektierten Montagesystem für Leistungsgewandelte ausgelegt werden müssen. Dieser aggregierte Zielwert noch ohne detaillierte Informationen hinsichtlich der Art von Leistungswandlungen dient dem Montageplaner zur präventiven Beeinflussung der Arbeitsbelastungen, bevor eine Bewertung des Planungsstandes erfolgen kann.

5.3.2.3 Auswahl der Zuordnungsstrategie

Die Auswahl der Zuordnungsstrategie erfolgt unter Abwägung der in Abschnitt 5.3.1.4 aufgeführten Einflussfaktoren und der Eignung einzelner Strategien für das aktuelle Planungsprojekt. Aufgrund der Vielzahl an Einflussfaktoren kann für diesen Schritt kein deterministisches Regelwerk angegeben werden.

Tabelle 14: Eignungsbewertung der Zuordnungsstrategien

Einflussfaktor	Zuordnungsstrategie			
	1	2	3	4
Planungsprojekte für Pilotmontagesysteme	Reguläres Montagesystem		Pilotsystem	
Anteil Leistungsgewandelter	Hoch		Gering	
Anzahl geplanter Arbeitsplätze	Hoch		Neutral	Gering
Spektrum an Arbeitsplatztypen	Breit, da arbeitsplatzindividuelle Lösungen erarbeitet werden müssen		Schmal, da Maßnahmentransfer für eine aufwandsarme Integration notwendig	
Arbeitsorganisation	Geringe Einsatzflexibilität, keine bzw. kleine Job Rotation-Zyklen		Hohe Einsatzflexibilität, umfassende Job Rotation-Zyklen	

Liegen seitens der Planungsprojektleitung keine Präferenzen zur Strategiewahl vor, wird ein systematischer Bewertungs- und Auswahlprozess empfohlen. Die Grundlage für diese Auswahl stellt die qualitativ formulierte Tabelle 14 dar, welche die Eignungsbewertung der Zuordnungsstrategien im Hinblick auf die relevanten Einflüsse zeigt.

5.3.2.4 Ergebnisse der Methode

Die Methode zur Festlegung der Planungsziele analysiert die vorhandene Belegschaft, legt Zielwerte für den Integrationsgrad und die Einsatzflexibilität leistungsgewandelter Mitarbeiter fest und wählt die im weiteren Verlauf der Methodik verwendete Zuordnungsstrategie aus. Für die iterativ abfolgende Bewertung und Anpassung des jeweils aktuellen Planungsstandes stellen die Ergebnisse der Methode notwendige Eingangsvoraussetzungen dar.

5.4 Bewertung des Planungsstandes

5.4.1 Mitarbeiterzuordnung und Planungsbewertung

Der Planungsstand wird an den zuvor definierten Zeitpunkten im Laufe des Montageplanungsprozesses bewertet, indem durch Lösen des Zuordnungsproblems jeder Mitarbeiter entsprechend der ausgewählten Zuordnungsstrategie einem Arbeitsplatz zugewiesen wird.

Leistungsgewandelte werden der Gruppe N_{2i}^t zugeordnet, wenn alle Eignungskoeffizienten am zugeordneten Arbeitsplatz nichtnegativ sind und keine Anpassungen durchgeführt werden müssen. Leistungsgewandelte, die einem Arbeitsplatz mit mindestens einem negativen Eignungskoeffizienten zugewiesen werden, werden der Gruppe N_{2n}^t zugeordnet.

Im Anschluss werden die Kennzahlen zur Bewertung des Planungsstandes anhand der berechneten Mitarbeiter-Arbeitsplatzzuordnung erhoben (vgl. Abschnitt 5.3.1.1 und 5.3.1.3). Für die Bewertung des Planungsstandes sind eine Reihe relevanter Einflussfaktoren zu beachten, die im Folgenden dargestellt werden.

5.4.1.1 Einflüsse auf die Spezifizierung des Zuordnungsproblems

Die Spezifizierung des Zuordnungsproblems ist von Einflussfaktoren abhängig, deren Ausprägungen für das jeweils vorliegende Montageplanungsprojekt bestimmt werden müssen. Abbildung 35 zeigt die im Folgenden erläuterten Einflussfaktoren auf die Bewertung des Planungsstandes und die Zuordnung von leistungsgewandelten Mitarbeitern zu Arbeitsplätzen. Diese werden im Anschluss vorgestellt und erläutert.

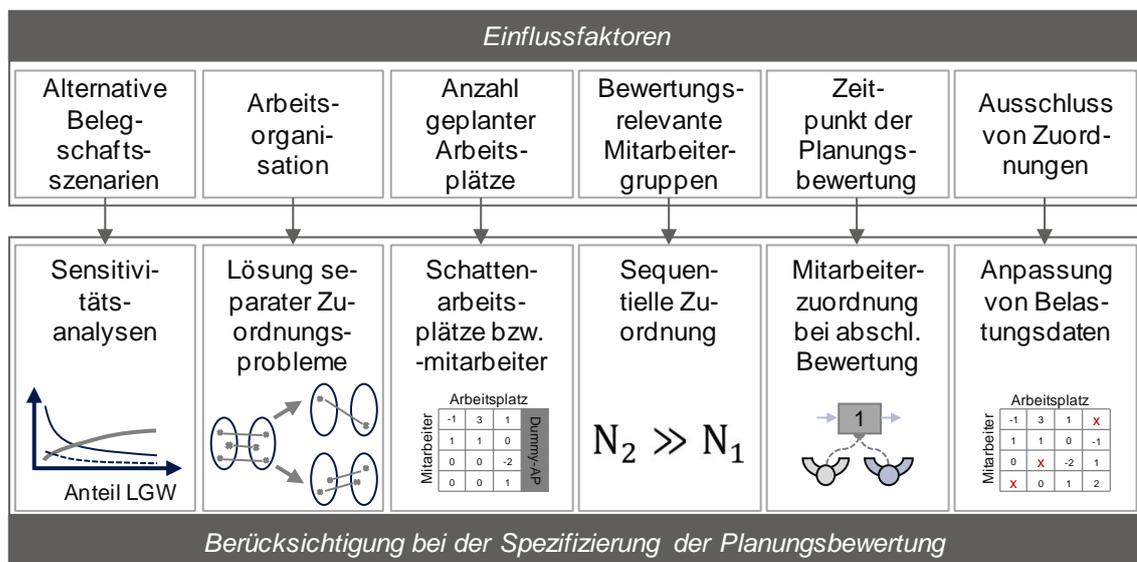


Abbildung 35: Relevante Einflussfaktoren auf die Zuordnungsspezifizierung

Alternative Belegschaftsszenarien

Da der Planungsstand durch Zuordnung von Mitarbeitern zu Arbeitsplätzen bewertet wird, ist die Anzahl benötigter Arbeitsplätze für Leistungsgewandelte eine direkte Funktion der Eingangsdatenbasis. Eine vorwegnehmende Abbildung zukünftiger Belegschaftsentwicklungen in den Mitarbeiterdaten zieht daher keine Änderungen der Bewertung sowie im nächsten Schritt der Anpassung des Planungsstandes nach sich. Die Abbildung zukünftig erwarteter Belegschaftsentwicklungen ist im Rahmen der Bewertung durch Variation der Mitarbeiterbasis und entsprechende Analyse unterschiedlicher Belegschaftsszenarien bei der Mitarbeiterzuordnung möglich.

Arbeitsorganisation

Neben Fähigkeitsniveaus beeinflussen bisherige Einsatzorte und Tätigkeiten, Qualifikationen, Gruppenzugehörigkeiten, Schichtzuordnungen und arbeitsorganisatorische Instrumente wie Job Rotation die Zuordnung von leistungsgewandelten Mitarbeitern zu Arbeitsplätzen.

Die Einbindung von Qualifikationen in die Mitarbeiterzuordnung erfordert eine Berücksichtigung qualifikationsbezogener Profilvergleichskriterien und eine entsprechende Bewertung von Qualifikationsbedarfen an projektierten Arbeitsplätzen bereits während des Montageplanungsprozesses. Abgesehen von den nicht für die Montage entwickelten IMBA- bzw. MELBA-Verfahren erheben aufgrund des Fokus auf physische Arbeitsbelastungen keine Profilvergleichsverfahren qualifikatorische Kriterien. Eine in Relation zu physischen Anforderungen gleichgestellte Einbindung führt zudem zu Verzerrungen des Zuordnungsergebnisses: Die notwendigen Voraussetzungen für den erfolgreichen Einsatz Leistungsgewandelter, das Vorhandensein von ausführbaren Arbeitsplätzen, wird mit der in Maßen anpassbaren Mitarbeiterqualifikation gleichgestellt. Daher erscheinen Qualifikationen nicht als geeignete Eingangsparameter zur präventiven Integrierbarkeitsbeurteilung für leistungsgewandelte Mitarbeiter.

Sollen bestehende Gruppen- oder Schichtzugehörigkeiten bei Einführung eines neuen Montagesystems berücksichtigt werden, wird das zu spezifizierende Zuordnungsproblem in Subprobleme für jede Arbeitsplatz- bzw. jede Mitarbeitergruppe aufgeteilt. Diese werden parallel gelöst.

Bestehende Profilvergleichsverfahren verwenden das Kriterium „Schichtarbeit“, wodurch Einsatzzeiten des Mitarbeiters spezifiziert und Mitarbeiter in Schichtgruppen eingeordnet werden. Ist ein Mehrschichtbetrieb der fokussierten Montageanlage geplant, sind mitarbeiterspezifische Schichtrestriktionen zu beachten, da diese den Arbeitsplatzbedarf beeinflussen.²⁸

Für eine systematische Nutzung von Job Rotation in der Montage ist die örtliche Nähe von Rotationsarbeitsplätzen Bedingung. Diese Restriktion wirkt sich bei der Identifikation geeigneter Arbeitsplätze für Leistungsgewandelte negativ auf das Zuordnungsergebnis aus: Die Identifikation und Adaption von aus mehreren Arbeitsplätzen bestehenden Subarbeitssystemen führt zu erhöhtem Adaptionaufwand im Sinne mehrerer anzupassender Arbeitsplätze für einen Mitarbeiter. Zudem werden Bereiche mit Schonarbeitsbereichen gefördert, die aufgrund der Gefahr von Stigmatisierung vermieden werden sollten (SCHMIDT 2005; PRASCH 2010). Eine Berücksichtigung von Job Rotation-Zyklen für Leistungsgewandelte ist daher kein Bewertungsinhalt, kann jedoch nach Implementierung durch geeignete Algorithmen zur Personaleinsatzplanung Berücksichtigung finden. Ein hoher

²⁸ Vgl. auch BOGUS & DORN (2010, S. 269 ff.), die einen Schichtbelegungsfaktor von 1,2 verwenden, um schichtzuordnungsbedingt steigende Arbeitsplatzbedarfe zu berücksichtigen.

Zielwert für die Einsatzflexibilität unterstützt die Bereitstellung mehrerer Arbeitsplätze für Leistungsgewandelte jedoch zusätzlich.

Bewertungsrelevante Mitarbeitergruppen

Während der planungsbegleitenden Personalzuordnung ist die Frage zu beantworten, in welcher Reihenfolge Mitarbeitergruppen den projektierten Arbeitsplätzen zugeordnet werden. Es lassen sich unterschiedliche Reihenfolgen der Gruppenzuordnung verfolgen, indem zwei Zuordnungsprobleme sequentiell gelöst werden:

- Zunächst werden nicht leistungsgewandelte Mitarbeiter den Arbeitsplätzen zugeordnet. Unbesetzte Arbeitsplätze werden nach Möglichkeit durch leistungsgewandelte Mitarbeiter besetzt. Eine Optimierung von Integrationsaufwand oder -umfängen ist in diesem Fall nicht möglich, da verbleibende „Restarbeitsplätze“ unter Missachtung geeigneter, aber bereits durch nicht leistungsgewandelte Mitarbeiter eingenommene Arbeitsplätze besetzt werden.
- Zunächst werden leistungsgewandelte Mitarbeiter ihren Fähigkeiten entsprechend vorhandenen Arbeitsplätzen zugeordnet. Die nicht durch leistungsgewandelte Mitarbeiter eingenommenen Arbeitsplätze werden im Anschluss besetzt.

Bei Gleichbehandlung von sowohl leistungsgewandelten als auch nicht leistungsgewandelten Mitarbeitern innerhalb eines Zuordnungsproblems bzw. der Lösung nur eines Zuordnungsproblems werden Arbeitsplätze wiederum als erstes von nicht leistungsgewandelten Mitarbeitern besetzt: Diese besitzen nach den mittels Profilvergleichsverfahren erhobenen Fähigkeiten weniger Restriktionen bzgl. möglicher Arbeitsplätze, sind flexibler einsetzbar und werden deshalb bei der Suche nach einer geeigneten Mitarbeiter-Arbeitsplatzkombination systematisch bevorzugt. Dies gilt insbesondere für den Fall, dass weniger Arbeitsplätze als Mitarbeiter zur Verfügung stehen. Daher entspricht die Lösung eines kombinierten Zuordnungsproblems für LGW und nicht leistungsgewandelte Mitarbeiter nicht der Zielsetzung der Arbeit.

Für die Bewertung des Planungsstandes im Hinblick auf die Integrierbarkeit Leistungsgewandelter ist weiterhin die Mitarbeitergruppe N_l nicht relevant. Diese wird nicht in die Bewertung einbezogen, sondern kann in der sich an die Montagesystemplanung anschließende Phase der Personaleinsatzplanung in das Zuordnungsproblem integriert werden.

Anzahl geplanter Arbeitsplätze

Das Zuordnungsproblem besitzt nur dann eine zulässige Lösung, wenn eine entsprechende Menge an Arbeitsplätzen mit den notwendigen Anforderungen vorhanden ist. Aus Gründen der Praktikabilität beschränkt sich die vorliegende Arbeit bei der Bewertung des Planungsstandes auf den Fall, dass eine gleiche Anzahl an Arbeitsplätzen wie Mitarbeitern vorliegt.

Für Fall 1 und Fall 3 ergeben sich keine Änderungen der prinzipiellen Methodik, sondern nur der Eingangsdatenbasis: In Fall 1 werden der Mitarbeiterdatenbank $m-n$ „Schattenmitarbeiter“ ohne Leistungswandlungen hinzugefügt, von diesen Mitarbeitern besetzte Arbeitsplätze sind durch Personalakquise zu besetzen. Für den aus Rationalisierungsgründen praxisrelevanten dritten Fall werden $n-m$ „Schattenarbeitsplätze“ mit hohem Belastungsniveau für alle Profilvergleichskriterien eingefügt, die im Rahmen der Mitarbeiterzuordnung nicht durch Leistungsgewandelte besetzt werden.²⁹

Zeitpunkt der Planungsbewertung

In frühen Planungsphasen stehen nur für einen geringen Anteil der Profilvergleichskriterien alle Einzelattribute zur Ermittlung von Arbeitsbelastungen fest (vgl. Abschnitt 5.1). Eine feste Zuordnung von leistungsgewandelten Mitarbeitern zu Arbeitsplätzen ist mit dieser Informationsbasis nur dann sinnvoll, wenn sich die Anforderungsniveaus noch variabler Kriterien für einen Arbeitsplatz prognostizieren lassen. In der Praxis ist diese präventive Bewertung zukünftiger Belastungen aufgrund des großen Lösungsraums an alternativen Arbeitsbelastungen nicht möglich.

Zum abschließenden Bewertungszeitpunkt stehen für alle Profilvergleichskriterien ausreichende Daten zur Verfügung, so dass eine endgültige Zuordnung von Leistungsgewandelten möglich ist. Für das Zuordnungsproblem ergibt sich daher, dass eine zeitlich mehrdimensionale Optimierung der Personalzuordnung über alle Bewertungszeitpunkte nicht sinnvoll ist: Zwar ist der Montageplaner in frühen Planungsstadien in der Lage, auf Basis von Erfahrungswissen und den einem Arbeitsplatz zugeordneten Prozessen die Entwicklung der Belastungssituation gedanklich vorwegzunehmen. Die Aufbereitung und Einbindung dieses impliziten Wissens in die Arbeitsplatzzuordnung ist jedoch in der Praxis aufgrund beschränkter Pla-

²⁹ Dieses Vorgehen entspricht dem im Operations Research verwendeten Einfügen künstlicher Variablen, um eine zulässige Basislösung zu ermöglichen (vgl. DOMSCHKE 2007).

nungskapazitäten bisher nicht einsatzrelevant. Zudem grenzt eine feste Mitarbeiterzuordnung in frühen Planungsphasen den Lösungsraum für die Personaleinsatzplanung ein.

Die durch vorläufige Profilvergleiche gewonnenen Erkenntnisse bieten die im Folgenden erläuterten Möglichkeiten zur Verbesserung des aktuellen Planungsstandes:

- Bewertung der Einsetzbarkeit der vorhandenen Belegschaft und der Eignung projektierte Systemalternativen: Anhand der Personalzuordnung lassen sich vorläufige Kennzahlen ermitteln, um Rückschlüsse auf die Erreichbarkeit der Integrationszielwerte zu ermöglichen und frühzeitig Gegenmaßnahmen einzuleiten.
- Ermittlung von Anpassungsbedarfen auf Ebene einzelner Profilvergleichskriterien: Durch einen vorläufigen Profilvergleich lassen sich auch auf Basis nur eines oder weniger Kriterien einsatzkritische Belastungssituationen identifizieren, die für den Einsatz nicht leistungsgewandelter Mitarbeiter einer Reduktion durch Anpassung des Planungsstandes auf Systemebene bedürfen.
- Ermittlung von Anpassungsbedarfen auf Gesamtsystemebene: In frühen Phasen der Montageplanung wird die Höhe von Arbeitsbelastungen und entsprechenden Profilvergleichskriterien definiert, die nicht durch die konkrete Arbeits-, sondern durch die Systemgestaltung bestimmt werden. Durch frühzeitige Bewertung des Planungsstandes können auch ohne individuelle Mitarbeiterzuordnung Adaptionsbedarfe identifiziert werden. Die Austaktung des Montagesystems wird etwa typischerweise in einer relativ frühen Planungsphase vollzogen, so dass im Anschluss Profilvergleichskriterien zur Taktbindung von Arbeitsplätzen und entstehenden Arbeitsbelastungen bewertet werden können. Wird der angestrebte Integrationsgrad verfehlt, so lassen sich bereits in dieser frühen Phase Arbeitsbereiche zur Flexibilisierung der Leistungserbringung einplanen (vgl. PRASCH 2010).
- Aktualisierung der Mitarbeiter- und Arbeitsplatzdatenbasis: Durch Bestimmung nicht geeigneter Arbeitsplätze für Leistungsgewandelte und die Auswahl von nicht integrierbaren Mitarbeitern wird die Komplexität des Zuordnungsproblems schrittweise reduziert und der Lösungsraum für Mitarbeiterzuordnungen konkretisiert.

Ausschluss von Zuordnungen

Bei der Planung von Montagesystemen und -arbeitsplätzen können Prozess- oder Produktanforderungen zu belastenden Arbeitssituationen führen, welche aus technischen oder organisatorischen Gründen durch Adaptionsmaßnahmen nicht in dem Maße verringert werden können, das für leistungsgewandelte Mitarbeiter Einsatzmöglichkeiten eröffnet. Dieser Umstand führt zu einer Verzerrung des Zuordnungsergebnisses, wenn Mitarbeiter der Gruppe N_2 aufgrund eines von der spezifischen Belastung abgesehen niedrigen Belastungsniveaus einem solchen Arbeitsplatz dennoch zugeordnet werden.

Als Beispiel sind etwa Überkopfarbeiten zur Montage des Abgassystems im Automobilbau zu nennen, bei denen der Einsatz eines Mitarbeiters mit eben jener Leistungswandlung zwar theoretisch durch Auswahl spezifischer Betriebsmittel möglich ist, aber zu so weitreichenden Eingriffen in die Systemstruktur führen würde, dass eine Anpassung unrealistisch ist. Um diese nicht an bestimmte Anforderungen anpassbaren Zuordnungen zu vermeiden, ist vor Mitarbeiterzuordnung die Belastungsdatenbasis entsprechend zu korrigieren, indem nicht zulässige Mitarbeiter-Arbeitsplatzkombinationen aus der Eingangsdatenbasis für die Bewertung des Planungsstandes eliminiert werden.

5.4.2 Methode zur Bewertung des Planungsstandes

5.4.2.1 Zielsetzung und Vorgehen

Ziel der Bewertung ist die Bestimmung der Integrierbarkeit leistungsgewandelter und der relevanten Kennzahlen zum aktuellen Planungsstatus des Montagesystems. Die Bewertung erfolgt durch Zuordnung von Mitarbeitern zu Arbeitsplätzen. Als Ergebnis liegen für den aktuellen Planungsstand der ausgewählten Zuordnungsstrategie entsprechend optimale Zuordnungen von Werkern zu Arbeitsplätzen vor.

Im Anschluss werden die Zuordnungsergebnisse analysiert und der Handlungsbedarf zur Anpassung des aktuellen Planungsstatus bestimmt (Abbildung 36).

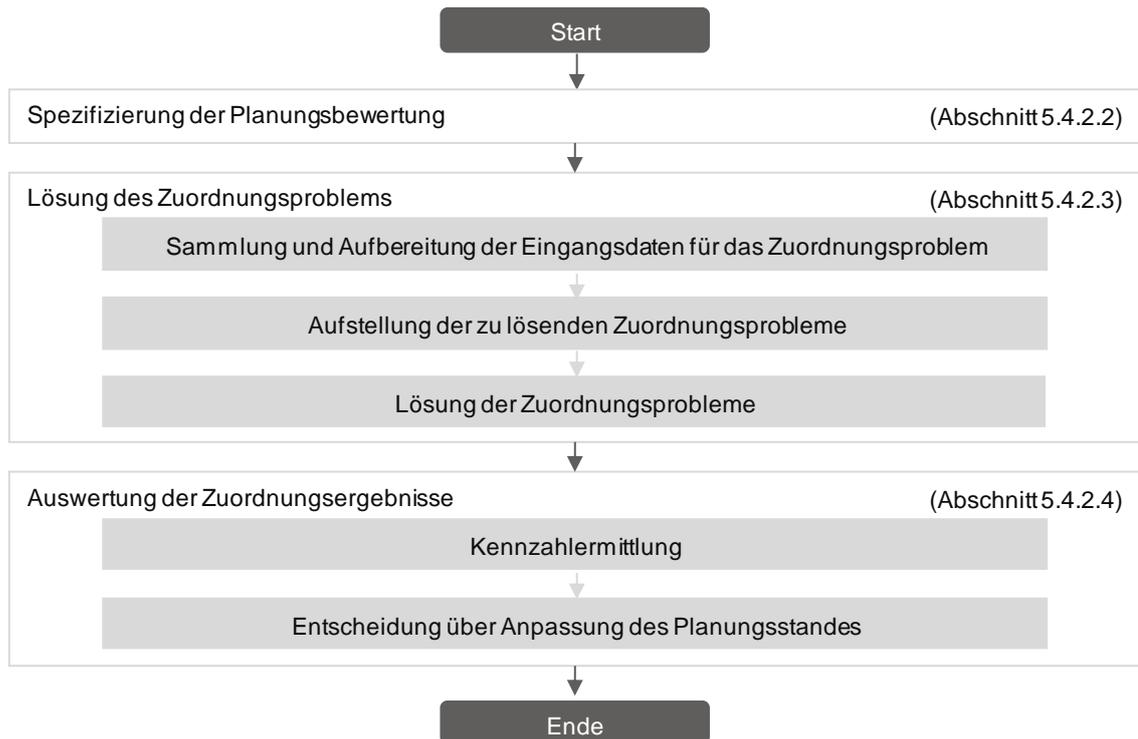


Abbildung 36: Vorgehen zur Bewertung des Planungsstandes

5.4.2.2 Spezifizierung der Planungsbewertung

Im Anschluss an die Festlegung von Integrationszielen und die Auswahl der Zuordnungsstrategie wird vor der ersten Bewertung das Zuordnungsproblem spezifiziert, indem relevante Ausprägungen der in Abschnitt 5.4.1.1 erläuterten Einflussfaktoren für das konkrete Montageplanungsprojekt erhoben werden. Auf dieser Basis wird die Struktur der Planungsbewertung festgelegt. Ergebnis des Planungsschrittes ist die Anzahl und konkrete Aufstellung zu lösender Zuordnungsprobleme.

5.4.2.3 Lösung des Zuordnungsproblems

Wichtigste Eingangsdatenbasis zur Bewertung des Planungsstandes ist die Mitarbeitermatrix, welche den Wert der Leistungswandlung für jeden Mitarbeiter hinsichtlich jedes Profilvergleichskriteriums angibt.³⁰

³⁰ Soll die Eignung des Montagesystems für alternative Belegschaftsszenarien bestimmt werden, ist diese Matrix ebenfalls variabel. Das Zuordnungsproblem wird der Anzahl an Belegschaftsszenarien entsprechend gelöst.

Zu jedem Bewertungszeitpunkt werden die Belastungen an geplanten Arbeitsplätzen für feststehende Profilvergleichskriterien erhoben und entsprechend die Eignungskoeffizienten $c_{ijk,t}$ für jede Mitarbeiter-Arbeitsplatzkombination abgeleitet.

Nutzbare Datenquellen zur Ermittlung der Arbeitsbelastungen werden in Abhängigkeit des Bewertungszeitpunktes und den unternehmensintern verwendeten Werkzeugen zur Belastungsanalyse ausgewählt. Während der Montageplanung stellen prototypische Arbeitsplatzaufbauten, 3D-Modellierungen von Montagesituationen, Belastungsdaten des Vorproduktes, sofern für die zu bewertenden Kriterien keine Produkt- und Prozessänderungen vorgenommen wurden, sowie Experteneinschätzungen geeignete Datenquellen dar.

Zunächst wird die Eingangsdatenbasis modifiziert, indem nach Bedarf Schattenarbeitsplätze oder -mitarbeiter in der Ausgangsdatenbasis hinzugefügt und Mitarbeiter- und Arbeitsplatzgruppen separat zu lösender Zuordnungsprobleme gebildet werden.³¹ Können im Vorhinein der Bewertung spezifische Mitarbeiter-Arbeitsplatzkombinationen ausgeschlossen werden, so sind die entsprechenden Werte der Eignungskoeffizienten so zu modifizieren, dass diese Zuordnung bei Lösung des Problems nicht auftritt.³²

Zudem ist entsprechend der zuvor ausgewählten Zuordnungszielsetzung das Aggregationskriterium zur Ermittlung der modifizierten Eignungskoeffizienten auszuwählen: Zur aufwandsarmen Erreichung der in Abschnitt 5.3 dargestellten Integrationsziele werden gewünschte Zuordnungsvorschriften in eine algorithmische nutzbare Form überführt. Entgegen dem klassischen Zuordnungsproblem liegen in den Ausgangsdaten dreidimensionale Eignungskoeffizienten vor, die zudem negative Werte zur Ermittlung von Adaptionsbedarfen umfassen. Da bisher keine effiziente Optimierungsmöglichkeit besteht, zweidimensionale Zuordnungen bei sowohl negativen als auch positiven dreidimensionalen Eignungskoeffizienten

³¹ Die Eignungskoeffizienten werden unter Berücksichtigung der zuvor ermittelten Einteilung von Mitarbeiter- und Arbeitsplatzgruppen bestimmt: Für parallel zu lösende Zuordnungsprobleme ergeben sich somit jeweils eigene Matrizen der Eignungskoeffizienten. Gleiches gilt im weiteren Verlauf der Methodik für modifizierte Eignungskoeffizienten, die Auswertung der Zuordnungsergebnisse und die sich anschließende Anpassung des Planungsstandes. Zur Wahrung der Übersichtlichkeit wird im Folgenden jedoch nur die Vorgehensweise anhand einer Mitarbeiter- und Arbeitsplatzgruppe beschrieben.

³² Mit den durch Abschnitt 4.3.2 definierten Ausprägungen von Arbeitsbelastungen und Mitarbeiterfähigkeiten werden alle p Eignungskoeffizienten dieser Mitarbeiter-Arbeitsplatzkombination auf den Wert $-,3^4$ gesetzt.

durchzuführen, werden modifizierte nichtnegative zweidimensionale Koeffizienten verwendet.

Tabelle 15 zeigt die Zuordnungsstrategien und entsprechend modifizierte Eignungskoeffizienten. Die Eignungskoeffizienten werden entsprechend der ausgewählten Zuordnungsstrategie in modifizierte Eignungskoeffizienten $e_{ij,t}$ umgewandelt.

Tabelle 15: Berechnung der modifizierten Eignungskoeffizienten

Nr.	Strategiebenennung	Formel zur Ermittlung des modifizierten Eignungskoeffizienten	
1	Minimierung der Anzahl an Arbeitsplätzen mit negativen Eignungskoeffizienten	$e_{ij,t,1} = c_{ijk,t} $ mit $c_{ijk,t} < 0$	(19)
2	Minimierung des Betrags negativer Eignungskoeffizienten	$e_{ij,t,2} = \sum_{k=1}^p c_{ijk,t} \forall c_{ijk,t} < 0$	(20)
3	Minimierung des Betrags positiver Eignungskoeffizienten	$e_{ij,t,3} = \sum_{k=1}^p c_{ijk,t} \forall c_{ijk,t} > 0$	(21)
4	Maximierung des Betrags positiver Eignungskoeffizienten	$e_{ij,t,4} = 3p - \sum_{k=1}^p c_{ijk,t} \forall c_{ijk,t} > 0$	(22)

Abbildung 37 zeigt die vor Lösung des Zuordnungsproblems bekannten Mitarbeiter- und Arbeitsplatzdaten und den Ablauf zur Ermittlung modifizierter Eignungskoeffizienten.

Durch Nutzung der modifizierten Eignungskoeffizienten kann das vorliegende Zuordnungsproblem auf das ganzzahlig-lineare klassische Zuordnungsproblem zurückgeführt und mittels exakter Optimierungsverfahren aufwandsarm gelöst werden.³³

³³ Im Rahmen des Bewertungsmoduls wird die Ungarische Methode nach KUHN (1955) und MUNKRES (1957) genutzt (vgl. Kapitel 6 und die Beschreibung der implementierten Module im Anhang der Arbeit ab S. 161).

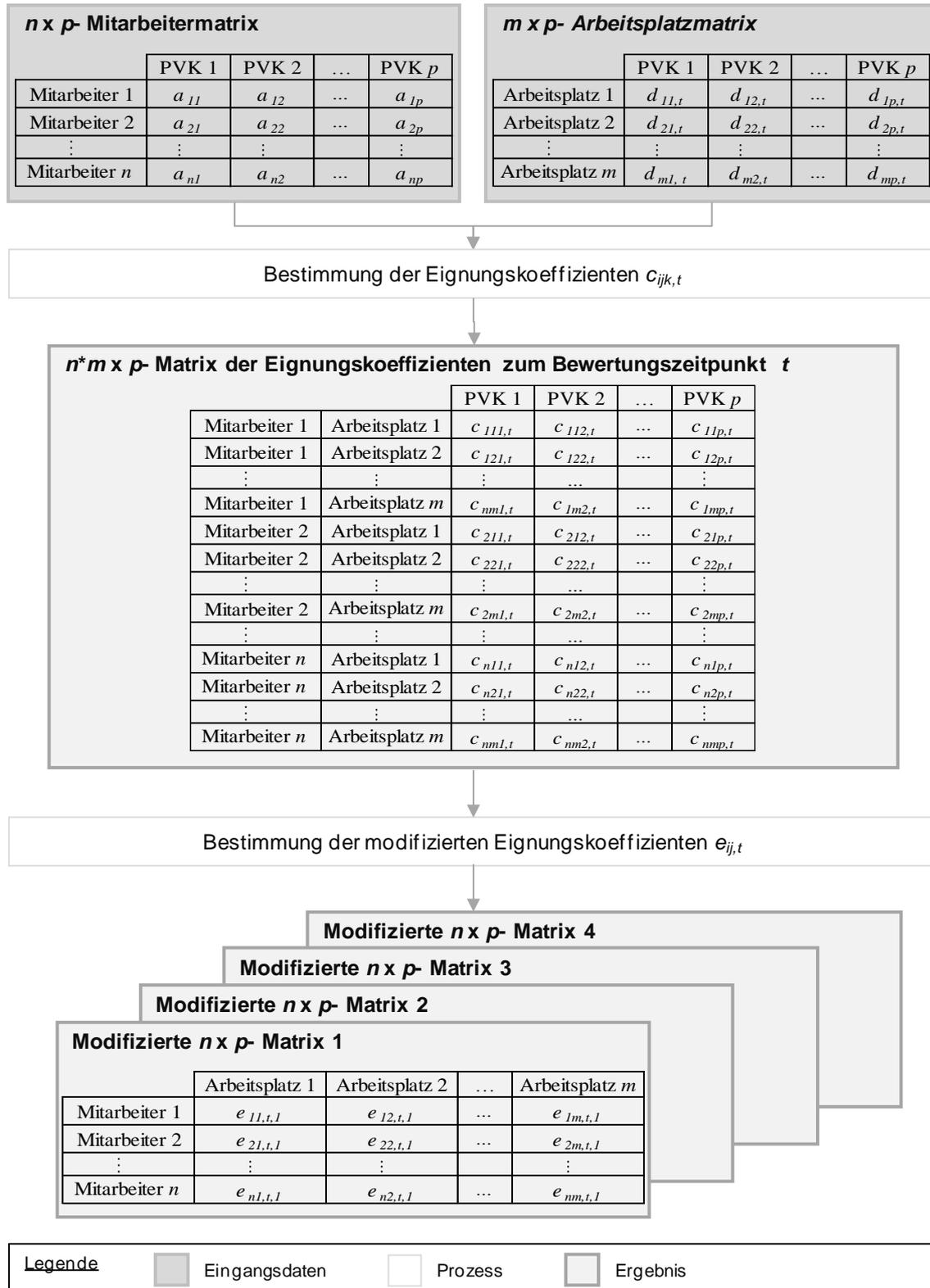


Abbildung 37: Bestimmung der modifizierten Eignungskoeffizienten

5.4.2.4 Messung der Zielerreichung

Ausgangspunkt der eigentlichen Bewertung des Planungsstandes ist das Ergebnis der Mitarbeiter-Arbeitsplatzzuordnung. Unter Verwendung der Zuordnungsergebnisse und der Eignungskoeffizienten werden für ermittelte Mitarbeiterzuordnungen die in Abschnitt 5.3.1 eingeführten Kennzahlen erhoben. Werden die in der Methode zur Festsetzung von Planungszielen definierten Zielwerte von Integrationsgrad und Einsatzflexibilität unterschritten, so schließt sich nach der Bewertung des Planungsstandes die Methode zur Anpassung des Planungsstandes durch Arbeitsplatzadaptionen an.³⁴ Alternativ wird die Methode zur Bewertung des Planungsstandes zum nächsten Bewertungszeitpunkt erneut durchlaufen.

5.4.2.5 Ergebnisse der Methode

Durch die Methode zur Bewertung des Planungsstandes werden in Abhängigkeit des Bewertungszeitpunktes und der bis zu diesem Planungszeitpunkt feststehenden Arbeitsbelastungen leistungsgewandelte Mitarbeiter entsprechend der ausgewählten Zuordnungsstrategie zu Arbeitsplätzen zugeordnet. Die anschließende Analyse der Zuordnungen führt zur Bewertung des aktuellen Planungsstandes und gibt Aufschluss über die zukünftige Integrierbarkeit Leistungsgewandelter innerhalb des geplanten Montagesystems. Kernergebnisse der Methode sind die Zuordnung von Mitarbeitern zu Arbeitsplätzen und die kennzahlbasierte Bewertung des Planungsstandes.

5.5 Anpassung des Planungsstandes

5.5.1 Priorisierung von Adaptionenbedarfen und Maßnahmenauswahl

5.5.1.1 Priorisierung von Adaptionenbedarfen

Eine an die Art des Bewertungszeitpunkts anpassbare Verfahrensweise zur Bildung von Adaptionenreihenfolgen fördert in frühen Planungsphasen durch Fokus-

³⁴ Bei Bewertung des Montagesystems für alternative Belegschaftsszenarien werden entsprechende Sensitivitätsanalysen durchgeführt, die zusätzlich zu den beschriebenen Kennzahlen Aufschluss über die Grenzsignung des Montagesystems bei variierenden Leistungswandlungen geben.

sierung auf die Einsatzflexibilität das Öffnen eines großen Raumes möglicher Mitarbeiterzuordnungen. Zudem wird die Wahrscheinlichkeit erhöht, auch leistungsgewandelte Mitarbeiter an mehreren Arbeitsplätzen einsetzen zu können und auf diese Weise Belastungswechsel durch Job Rotation zu ermöglichen.³⁵ Wie bei der Zuordnung von Mitarbeitern zu Arbeitsplätzen existieren variierende Möglichkeiten zur Priorisierung von Anpassungsbedarfen: Ursächlich für die Entscheidung über Art und Umfang einzusetzender Maßnahmen sind die Art des Bewertungszeitpunkts und das unterschrittene Integrationsziel.

Adaptionsbedarfe sind anhand der Ergebnisse des Zuordnungsproblems identifizierbar: Mitarbeiter-Arbeitsplatzzuordnungen mit negativen Eignungskoeffizienten $c_{ijk,t}$ weisen eine für den zugeordneten Mitarbeiter zu hohe Arbeitsbelastung $d_{jk,t}$ auf, die durch Maßnahmen zur Belastungsreduktion zu kompensieren ist. Ist der Integrationsgrad geringer als der Zielintegrationsgrad oder die ermittelte Einsatzflexibilität geringer als der angestrebte Zielwert, werden mögliche Arbeitsplatzadaptionen priorisiert und geeignete Maßnahmen zur Reduktion der Arbeitsbelastung ausgewählt.

Abbildung 38 zeigt zusammenfassend die zu unterscheidenden Fälle bei der Priorisierung von Adaptionsbedarfen. Diese werden im Folgenden erläutert.

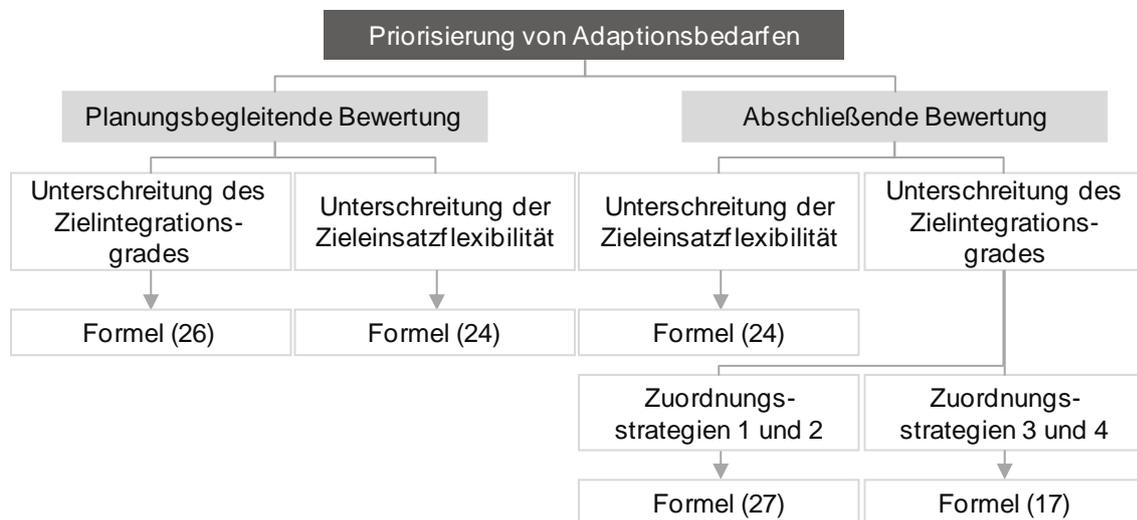


Abbildung 38: Relevante Fälle bei der Priorisierung von Adaptionsbedarfen

³⁵ Der Schwerpunkt der folgenden Ausführungen liegt auf der Bewertung und informationslogistischen Bereitstellung von Kompensationsmaßnahmen im Planungsablauf. Zur technischen und organisatorischen Ausarbeitung sowie zu berücksichtigenden Rahmenbedingungen zur Auslegung sei auf PRASCH (2010) verwiesen.

Planungsbegleitende Bewertung

Bei planungsbegleitenden Bewertungen kann aufgrund der nicht endgültig feststehenden Zuordnung von Mitarbeitern zu Arbeitsplätzen keine mitarbeiterindividuelle Anpassung eines zugeordneten Arbeitsplatzes getätigt werden: Die im weiteren Planungsprozess zusätzlich festgelegten Belastungsanalysekriterien können das Belastungsprofil eines Arbeitsplatzes derart ändern, dass sich für einen bei der planungsbegleitenden Bewertung zugeordneten Mitarbeiter andere Arbeitsplätze als geeigneter erweisen.

Daher liegt der Schwerpunkt auf der Erhaltung und Erhöhung der Einsatzflexibilität und der Sicherstellung einer umfassenden Integrierbarkeit Leistungsgewandelter im Gesamtsystem. Zur Priorisierung wird für leistungsgewandelte Mitarbeiter bei Unterschreitung des Einsatzflexibilitätsziels der Grad der Flexibilitätsverbesserung $\Delta_{F_t^M}^j$ eingesetzt.

Dieser beurteilt die Wirksamkeit einer Adaption, indem die sich nach Verringerung einer Belastung $d_{jk,t}$ um ein Belastungsniveau ergebende Flexibilitätsverbesserung ermittelt wird:³⁶

$$\Delta_{F_t^M}^j = \frac{\text{Flexibilität nach Adaption}}{\text{Flexibilität vor Adaption}} \quad (23)$$

Zudem ist der Flexibilitätsgewinn in Relation zu dem durch die Anpassung entstehenden Integrationsaufwand zu sehen. Um eine hohe Wirksamkeit zu erreichen, werden Maßnahmen anhand des Verhältnisses zwischen Flexibilitätsverbesserung und entstehendem Aufwand priorisiert. Das Sortierungskriterium s_1 wird dementsprechend folgendermaßen formuliert:

$$s_1 = \frac{\Delta_{F_t^M}^j}{c_{ijk,t}} \quad (24)$$

mit $i \in N_{2n}^t$ und $\{j | x_{ij} = 1\}$.

³⁶ Die Flexibilität nach Adaption berechnet sich analog zu Formel (13).

Bei Unterschreitung des Zielintegrationsgrades wird zur Priorisierung der Grad der Integrationsverbesserung auf Gesamtsystemebene $\Delta_{I_t}^j$ eingesetzt.

Dieser beurteilt die Wirksamkeit von Adaptionen, indem für jede mögliche Adaption ermittelt wird, inwiefern diese zu einer verbesserten Integrierbarkeit Leistungsgewandelter beiträgt. Abschließend erfolgt eine Priorisierung anhand der größten möglichen Verbesserung der Integrierbarkeit Leistungsgewandelter:

$$\Delta_{I_t}^j = \frac{\text{Integrationsgrad nach Adaption}}{\text{Integrationsgrad vor Adaption}} \quad (25)$$

Analog zur Priorisierung bei Unterschreitung des Einsatzflexibilitätsziels erfolgt die Priorisierung in Relation zum Anpassungsaufwand. Das Sortierungskriterium s_2 wird dementsprechend folgendermaßen formuliert:

$$s_2 = \frac{\Delta_{I_t}^j}{c_{ijk,t}} \quad (26)$$

mit $i \in N_{2n}^t$ und $\{j | x_{ij} = 1\}$.

Abschließende Bewertung

Der letzte Bewertungszeitpunkt während der Planung ist dadurch charakterisiert, dass sich im weiteren Planungsverlauf keine Änderungen der erhobenen Arbeitsbelastungen ergeben und leistungsgewandelte Mitarbeiter endgültig ihren Arbeitsplätzen zugeordnet werden. Daher können Anpassungen des Planungsstandes mitarbeiterindividuell durchgeführt werden. Bei Unterschreitung des Einsatzflexibilitätsziels wird wie bei der planungsbegleitenden Bewertung der Grad der Flexibilitätsverbesserung nach Formel (24) eingesetzt.

Bei Unterschreitung des Zielintegrationsgrades werden Adaptionsbedarfe auf Basis der Zuordnungen ermittelt. Für jeden zum aktuellen Planungsstand nicht integrierten Mitarbeiter wird der Betrag notwendiger Anpassungen an dem aktuell zugeordneten Arbeitsplatz berechnet:

$$s_3 = A_{ij,t}^K \quad (27)$$

Für den alternativen Fall, dass die Zielsetzung der Mitarbeiterzuordnung in der möglichst vollständigen Nutzung positiver Mitarbeiterfähigkeiten besteht (vgl. Abschnitt 5.3.1.3), erfolgt eine mitarbeiterorientierte Sortierung anhand Formel (17).

5.5.1.2 Maßnahmenauswahl

Die Bereitstellung von Maßnahmen entlang des Planungsprozesses ist unabhängig von Bewertungszeitpunkt, Spezifikation des Zuordnungsproblems und zuvor durchgeführter Priorisierung. Im Vorfeld der Planungsbewertung sind nicht anpassbare Kriterien je Arbeitsplatz bereits in der Ausgangsdatenbasis korrigiert worden, so dass die Umsetzbarkeit bei Auswahl technischer oder organisatorischer Maßnahmen sichergestellt ist.

Maßnahmeneinbindung in den Planungsprozess

Die Einbindung von kompensatorischen Maßnahmen erfolgt auf Basis des anzupassenden Profilvergleichskriteriums und des zu kompensierenden Niveaus an Arbeitsbelastungen. Zu diesem Zweck werden bei Erstverwendung zur Verfügung stehende Maßnahmen im Hinblick auf beeinflussbare Profilvergleichskriterien klassifiziert und es wird ermittelt, welches Potenzial zur Belastungsverringerung besteht. Das Potenzial zur Belastungsverringerung wird entsprechend der in Tabelle 5 erläuterten Ausprägungen von Arbeitsbelastungen angegeben.

Der spezifische Montagekontext besitzt einen hohen Einfluss auf das Potenzial zur Belastungsverringerung, so dass eine weitergehende Operationalisierung, etwa auf Basis des EBI-Wertes, ohne detaillierte Arbeitsplatzanalyse für Einzelmaßnahmen nicht durchführbar erscheint. Soll etwa ein Mitarbeiter mit der Leistungsgewandlung, nur sitzende Tätigkeiten auszuüben einem Arbeitsplatz mit einem Anteil stehender Arbeitsausführungen zugeordnet werden, so wird dem Montageplaner eine Steh-Sitz-Hilfe als geeignete Adaption vorgeschlagen. Das Zusammenspiel aus auszuführenden Prozessen, der aktuellen System- und Arbeitsplatzgestaltung entscheidet über die konkrete Einsetzbarkeit der Steh-Sitz-Hilfe und muss im konkreten Planungsfall vom Montageplaner überprüft werden.

Einbindungsrelevante Informationen

Neben dem beeinflussten Profilvergleichskriterium und dem Grad der zu verringernden Arbeitsbelastung wird der Maßnahmeneinsatz von produkt-, prozess- und planungsabhängigen Faktoren beeinflusst. Hierbei ist zwischen der Bereitstellung von Maßnahmen entlang des Planungsprozesses zur Information des Montageplaners und der detaillierten Auslegung von Maßnahmen und deren Einbindung in

geplante Arbeitsplätze zu unterscheiden.³⁷ Der bisherige Einsatz belastungskompensierender Maßnahmen hängt von Zeit- und Kompetenzrestriktionen sowie von bisherigen arbeitsgestalterischen Erfahrungen des einzelnen Montageplaners ab. Umfangreiche Planungsumfänge ziehen zudem eine große Aufgabenfragmentierung unter Planungsbeteiligten nach sich. Der informelle Erfahrungstransfer unter verschiedenen Planungsbeauftragten beeinflusst zusätzlich den Maßnahmeneinsatz. Voraussetzung für die umfassende Berücksichtigung von kompensatorischen Maßnahmen ist deshalb die strukturierte und prozessbegleitende Aufbereitung und Darstellung von kontextbezogenen Beispiellösungen. Abbildung 39 verdeutlicht die umsetzungsrelevanten Informationen für belastungsreduzierende Maßnahmen bei der Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter.

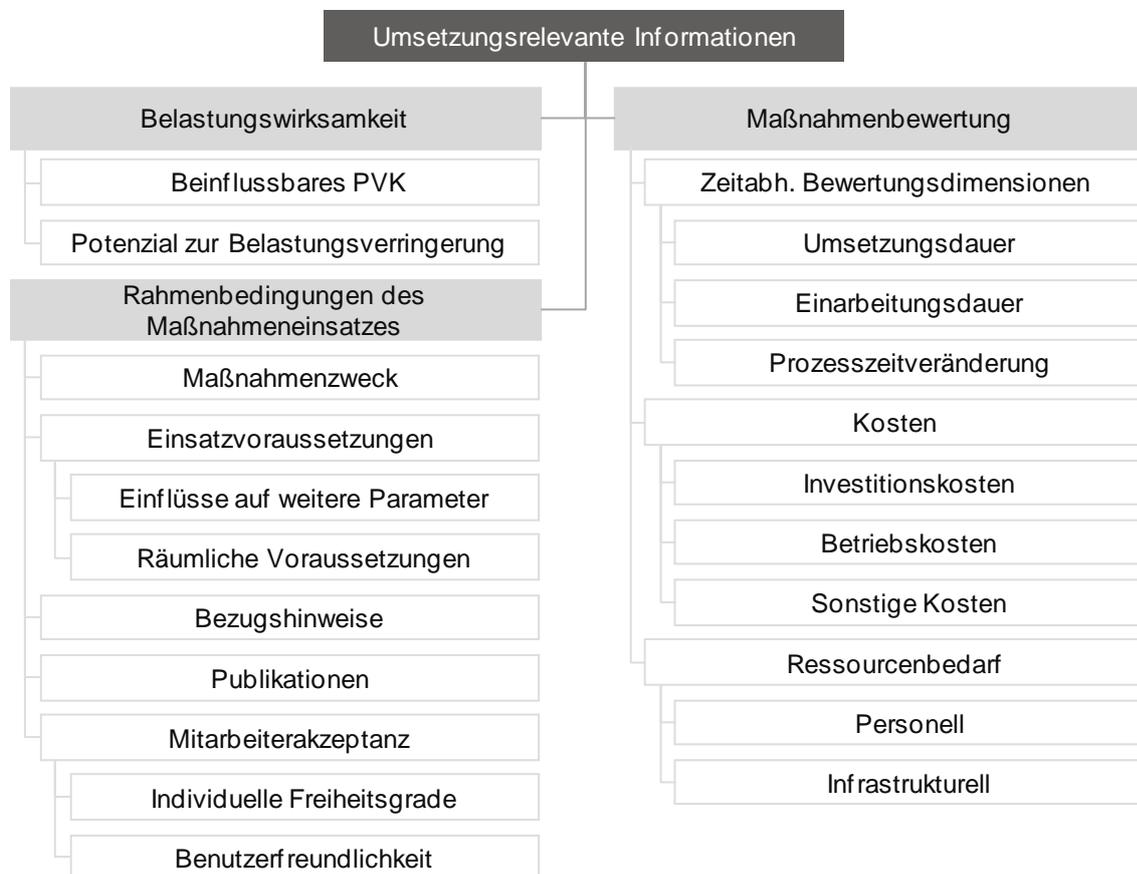


Abbildung 39: Relevante Informationen zur Maßnahmeneinbindung

³⁷ Im Sinne der Zielsetzung, leistungsgewandelte Mitarbeiter in den Planungsprozess einzubinden, ist die detaillierte ergonomische Anpassung bestehender Maßnahmen kein Inhalt der Methodik, da diese Anpassung wiederum Einzelarbeitsplätze fokussiert. Für den einen Großteil von Leistungswandlungen kompensierenden Einsatz von Handhabungsmitteln und haltungsoptimierenden Maßnahmen sowie die Leistungsflexibilisierung stellt PRASCH (2010) ein Umsetzungsvorgehen vor. Zur detaillierten Auslegung von Basis-einrichtungen eines Montagearbeitsplatzes vgl. TÄUBERT & REIF (1997).

Für eine umfassende Bewertung und den Vergleich von Maßnahmen während der Planung werden die technische und organisatorische Umsetzbarkeit, die Wirksamkeit zur Integration Leistungsgewandelter im Kontext des fokussierten Arbeitsplatzes und die Wirtschaftlichkeit bewertet.

5.5.2 Methode zur Anpassung des Planungsstandes

5.5.2.1 Zielsetzung und Vorgehen

Ziel der Methode ist die zuordnungsbasierte Einbindung kompensatorischer Maßnahmen, um leistungsgewandelte Mitarbeiter entsprechend der gesetzten Integrationsziele im zukünftigen Montagesystem wertschöpfend beschäftigen zu können. Die identifizierten Anpassungsbedarfe zur Integration nicht eingebundener Leistungsgewandelter werden priorisiert (Abschnitt 5.5.2.2). Im Anschluss werden wirtschaftliche Alternativen zur Adaption weiterer Arbeitsplätze aufgezeigt, bewertet und in die Planung eingebunden (Abschnitt 5.5.2.3).

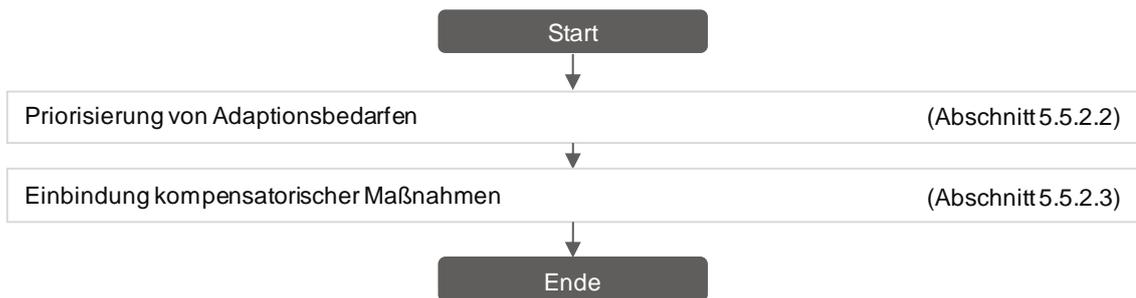


Abbildung 40: Vorgehen zur Anpassung des Planungsstandes

5.5.2.2 Priorisierung von Adaptionenbedarfen

Basierend auf den Zuordnungsergebnissen werden leistungsgewandelte Mitarbeiter in die Gruppen N_{2n}^t und N_{2i}^t eingeteilt. Bei der planungsbegleitenden Bewertung werden Anpassungen zur Zielwerterreichung auf Gesamtsystemebene durchgeführt, während bei der abschließenden Bewertung individuelle Adaptionenbedarfe für alle Mitarbeiter der Gruppe N_{2n}^t am zugeordneten Arbeitsplatz kompensiert werden.

Adaptionenbedarfe werden entsprechend den in Abbildung 38 dargestellten Priorisierungsarten in Abhängigkeit von Planungszeitpunkt und zu erreichendem Ziel priorisiert.

5.5.2.3 Einbindung kompensatorischer Maßnahmen

Im nächsten Schritt werden für die Adaptionenbedarfe geeignete Maßnahmen identifiziert, indem diese auf Basis der maßnahmenindividuellen Potenziale zur Belastungsreduktion aus einem Maßnahmenkatalog ausgewählt und dem Montageplaner aufgezeigt werden (vgl. *Abbildung 48* im Anhang, die eine praktische Umsetzung als Software zeigt).

Sekundäre Kontextinformationen liefern Hinweise zur Maßnahmeneignung. Die Maßnahmeneinbindung lehnt sich an das reaktive Vorgehen zur Adaption von Arbeitsplätzen und -systemen an. Im Anschluss an die Maßnahmenauswahl erfolgen Simulation und Tests und die Überprüfung der Integrierbarkeit einer Maßnahme. Bei positivem Umsetzungsbescheid schließt sich eine Aktualisierung der Belastungsinformationen an: Eine Einbindung kompensatorischer Maßnahmen führt zu Veränderungen der Belastungssituation und damit zu veränderten Eingangsdatenbasen für die Zuordnung von Mitarbeitern zu Arbeitsplätzen bei der nächsten Iteration von Bewertung und Anpassung des Planungsstandes.

5.5.2.4 Ergebnisse der Methode

Durch die Methode zur Anpassung des Planungsstandes werden Adaptionenbedarfe in Abhängigkeit des Bewertungszeitpunktes identifiziert, priorisiert und ausgewählt. Im Anschluss erfolgen die Bewertung möglicher Maßnahmen, die Einbindung dieser Maßnahmen in den aktuellen Planungsstand sowie die Aktualisierung der Belastungsdatenbasis.

5.6 Fazit

Abschnitt 5.2.1 erläutert notwendige Vorbetrachtungen, Grundlagen und Definitionen zum Einfluss von Planungsmethoden auf Profilvergleichskriterien und die Nutzung der dargestellten Zusammenhänge in der Montageplanung. Diese Erkenntnisse werden in Abschnitt 5.2.2 zu einem methodischen Ablauf für die Ermittlung von Bewertungszeitpunkten formuliert.

Abschnitt 5.3.1 stellt die bei der Integration Leistungsgewandelter verfolgbaren primären und sekundären Planungsziele vor und erläutert bei der Festlegung von Zielwerten zu berücksichtigende Einflussfaktoren. Die dargestellten Erkenntnisse

finden in Abschnitt 5.3.2 bei der Vorstellung des methodischen Ablaufs zur Ermittlung von Planungszielen Verwendung.

Abschnitt 5.4.1 präsentiert die wesentlichen Einflussfaktoren auf die Bewertung des Planungsstandes und formuliert eindeutige Kennzahlen für die mit der Methodik verfolgten Integrationsziele. Die dargestellten Erkenntnisse werden in Abschnitt 5.4.1 zum konkreten Bewertungsproblem spezifiziert und in Abschnitt 5.4.2 zu einem methodischen Ablauf für die Bewertung des Planungsstandes formuliert.

Abschnitt 5.5.1 erläutert relevante Einflüsse auf die Priorisierung von Anpassungsbedarfen und stellt die Einbindung kompensatorischer Maßnahmen in den Planungsverlauf auf Basis adressierter Profilvergleichskriterien vor. Diese Vorüberlegungen fließen in Abschnitt 5.5.2 in die Methodik zur Anpassung des Planungsstandes ein.

6 Anwendung und Bewertung der Methodik

6.1 Entwickelte Werkzeuge

Für die Anwendung der Methodik kommt ein modular aufgebautes Softwaresystem zum Einsatz, mit welchem Bewertung und Anpassung des Planungsstandes iterativ durchgeführt werden. Die in Kapitel 5 aufgezeigten Einflussfaktoren und ihre vielfältigen Variationsmöglichkeiten innerhalb eines Montageplanungsprojektes erfordern eine Softwarelösung, die hinreichende Individualisierungsmöglichkeiten in Anlehnung an die Rahmenbedingungen und Erfordernisse des jeweiligen Montageplanungsprojektes bietet. Abbildung 41 zeigt anhand der entwickelten Methoden den schematischen Aufbau sowie die relevanten Datenflüsse zwischen den entwickelten Modulen.

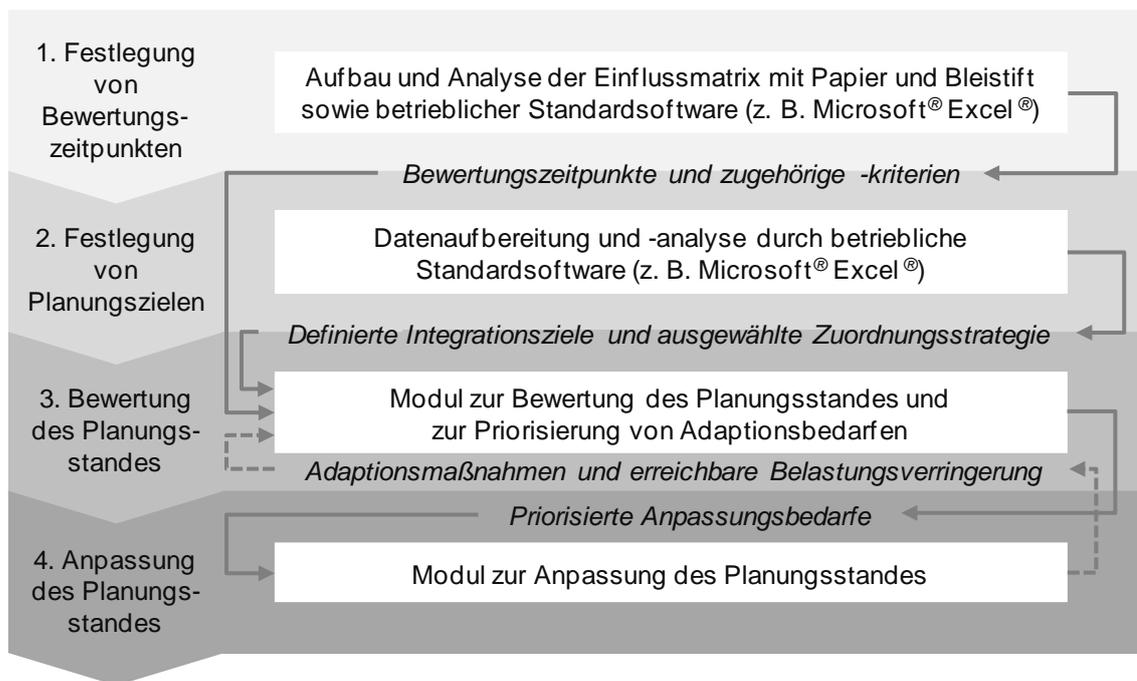


Abbildung 41: Aufbau der Werkzeuge zur Identifikation und Adaption von Arbeitsplätzen für leistungsgewandelte Mitarbeiter entlang des Montageplanungsprozesses

Die genutzten Werkzeuge für die Festlegung von Bewertungszeitpunkten und von Planungszielen bestehen aus allgemein verfügbarer Standardsoftware, wohingegen die Module zur Bewertung und zur Anpassung des Planungsstandes Eigenentwicklungen darstellen. Im Detail werden die entwickelten Module hinsichtlich implementierter Funktionalitäten im Anhang ab S. 161 erläutert.

6.2 Anwendung der Methodik

6.2.1 Aufbau der Anwendungsbeispiele

Die im Folgenden beschriebenen Anwendungsbeispiele sollen erstens das Vorgehen zur Identifikation und Adaption von Arbeitsplätzen für leistungsgewandelte Mitarbeiter anhand eines modellhaften Montagesystems veranschaulichen. Zum Zweiten soll der Einfluss der alternativ auszuwählenden Zuordnungsstrategien auf das Methodikergebnis aufgezeigt werden. Die Methodikanwendung gliedert sich entsprechend in zwei Teile (Abbildung 42).

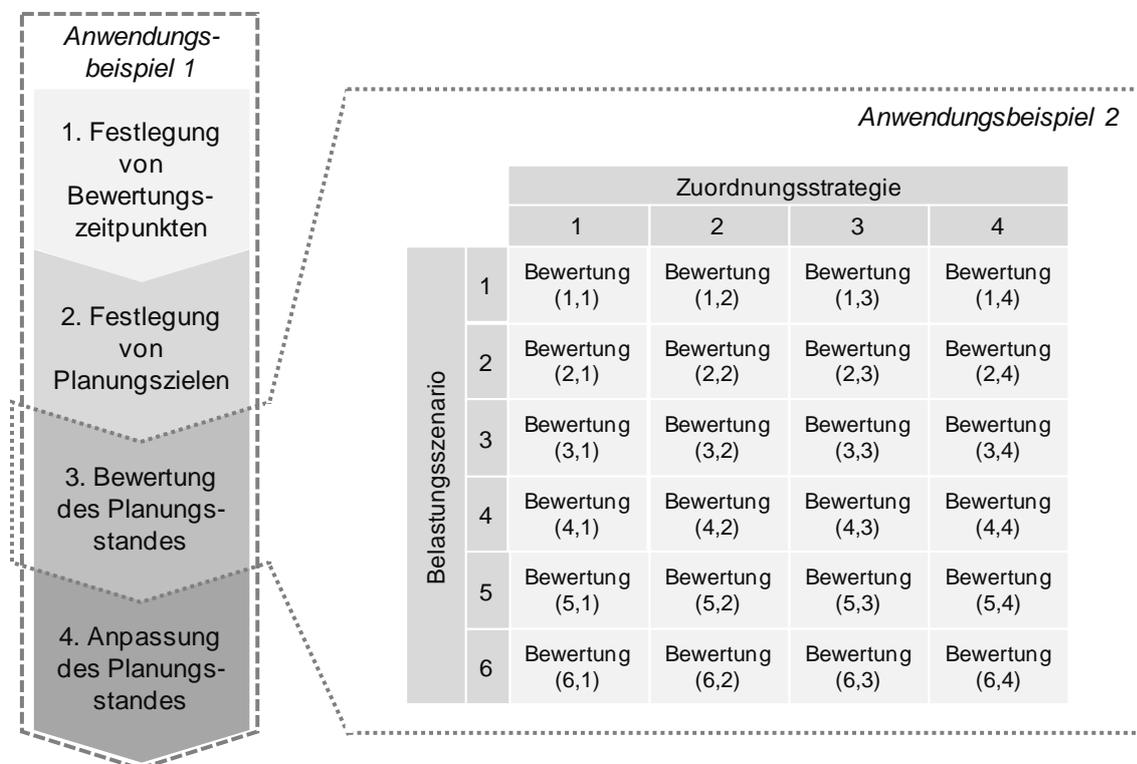


Abbildung 42: Struktur und Schwerpunkte der Anwendungsbeispiele

In Anwendungsbeispiel 1 wird die gesamte Methodik mit der Festlegung von Bewertungszeitpunkten und von Planungszielen, der Bewertung und der Anpassung des Planungsstandes dargestellt (Abschnitt 6.2.2). Im Anschluss wird in Anwendungsbeispiel 2 der Einfluss der alternativen Zuordnungsstrategien auf das Zuordnungsergebnis bei gleichbleibender Belegschaft untersucht. (Abschnitt 6.2.3).

6.2.2 Anwendungsbeispiel 1

Anwendungsbeispiel 1 zeigt den Ablauf der entwickelten Methodik anhand eines Montageplanungsprojektes unter Verwendung von Modelldaten für die einzusetzende Belegschaft und die Arbeitsbelastungen. Nach den verwendeten Eingangsdaten werden im Folgenden die Ergebnisse der Methodik vorgestellt.

6.2.2.1 Eingangsdaten

Die Festlegung von Bewertungszeitpunkten ist sowohl von den eingesetzten Planungsmethoden und deren chronologischer Abfolge als auch dem genutzten Belastungsanalyseverfahren abhängig. Für die exemplarische Anwendung werden das industriell genutzte Belastungsanalyseverfahren ABA sowie das Planungsvorgehen nach BULLINGER & AMMER (1986) genutzt. Das Profilvergleichssystem ABA stellt mit der Erhebung von Belastungen durch Arbeitsaufgabe, Umwelt und Mensch-Maschine-Schnittstelle ein Kombinationsverfahren für unterschiedliche montagerelevante Belastungsschwerpunkte dar. Es bietet unter Verwendung eines unternehmensintern definierten Eingliederungsprozesses die systematisierte Möglichkeit, geeignete Arbeitsplätze für leistungsgewandelte Mitarbeiter in bestehenden Produktionsstrukturen zu identifizieren (HELL ET AL. 1985; MARQUARDT ET AL. 1985; SCHULZ & HECKERT 1985; ARBEITSKREIS ERGONOMIE 2002; PIEPER 2009; WALCH 2011). Zur frühzeitigen Ermittlung kritischer Belastungen ist das Verfahren beim anwendenden Unternehmen in unternehmensweit definierte Planungsprozesse eingebunden, so dass hohe Belastungsintensitäten bereits bei der Produktgestaltung, der Konzeption und während der Detaillierung des Montagesystems erkannt und verringert werden können. Das Montageplanungsvorgehen nach BULLINGER & AMMER (1986) bietet eine chronologische und funktionale Gliederung von Planungsschritten, wie sie sowohl für kleine Einproduktmontagen als auch in abgewandelter Form bei der Planung komplexer Montagesysteme mit mehreren hundert Arbeitsplätzen eingesetzt werden. Abgesehen von der durch umfangreiche Referenzmodellierungen sämtlicher Planungsschritte geprägten Automobilindustrie bildet das Verfahren den in vielen Industrieunternehmen vorzufindenden Stand des Planungsvorgehens ab. Im Rahmen der exemplarischen Methodikanwendung wurde das Montageplanungsvorgehen in 42 sequentiell abfolgende Planungsschritte gegliedert. Die Anwendung der Methodik nutzt eine Modellbelegschaft mit einhundert Mitarbeitern. Für jeden Mitarbeiter werden anhand der PVK des ABA-Systems Werte für das individuelle Niveau von Leistungswandlungen angenommen. Art und Häufigkeit der

LW innerhalb der Belegschaft entsprechen der in Abschnitt 2.3 dargestellten Datenlage in der Industrie. Das Durchschnittsalter beträgt 42 Jahre, der Anteil an LGW 15 %. Bei zehn LGW liegt eine LW vor, bei zwei Mitarbeitern zwei Lwen und bei einem Mitarbeiter drei Lwen. Abbildung 43 zeigt die Altersstruktur und den Anteil an LGW je Alterskohorte in der Modellbelegschaft.

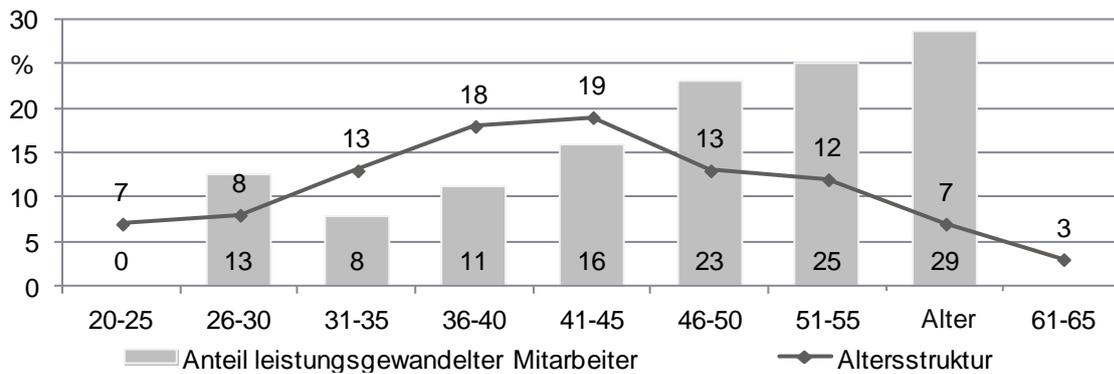


Abbildung 43: Altersstruktur und Anteil leistungsgewandelter Mitarbeiter der verwendeten Modellbelegschaft

Für die Bewertung und anschließende Anpassung des Planungsstandes werden Modellbelastungsdaten für einhundert Arbeitsplätze verwendet. Die Belastungsbewertung jedes Arbeitsplatzes erfolgt entsprechend der 19 PVK des ABA-Systems. 10 % der Werte weisen keine Belastung nach, 10 % entsprechen einer grünen Belastung, 60 % einer gelben Belastung und 10 % einer roten Belastung. Somit tritt in Anwendungsbeispiel 1 die gleiche Anzahl von Arbeitsplätzen und Mitarbeitern bei einem breiten Spektrum unterschiedlicher Belastungsprofile der Arbeitsplätze auf. Zusätzlich wird die Annahme getroffen, dass ein umfassender Einsatz leistungsgewandelter Mitarbeiter in Job Rotation-Zyklen nicht vorgesehen ist und ein Großteil der LGW im Montagesystem zum Einsatz kommen soll.

6.2.2.2 Festlegung von Bewertungszeitpunkten

Der Einfluss von Planungsmethoden auf ABA-Belastungsanalyseverfahren, die quantitative Auswertung dieser Einflüsse sowie ermittelte Bewertungszeitpunkte sind Abbildung 44 zu entnehmen. Die Analyse zeigt die Bewertbarkeit von Profilvergleichskriterium 17 (Taktbindung, vgl. Tabelle 22 auf S. 159) in der Konzeptionsphase des Montagesystems, wohingegen alle weiteren Kriterien erst im Rahmen der Feinplanung und Ausarbeitung sowie während der Implementierung des Montagesystems erhoben werden können. Zusammenfassend lassen sich durch Anwendung der Leitfragen drei Bewertungszeitpunkte ableiten.

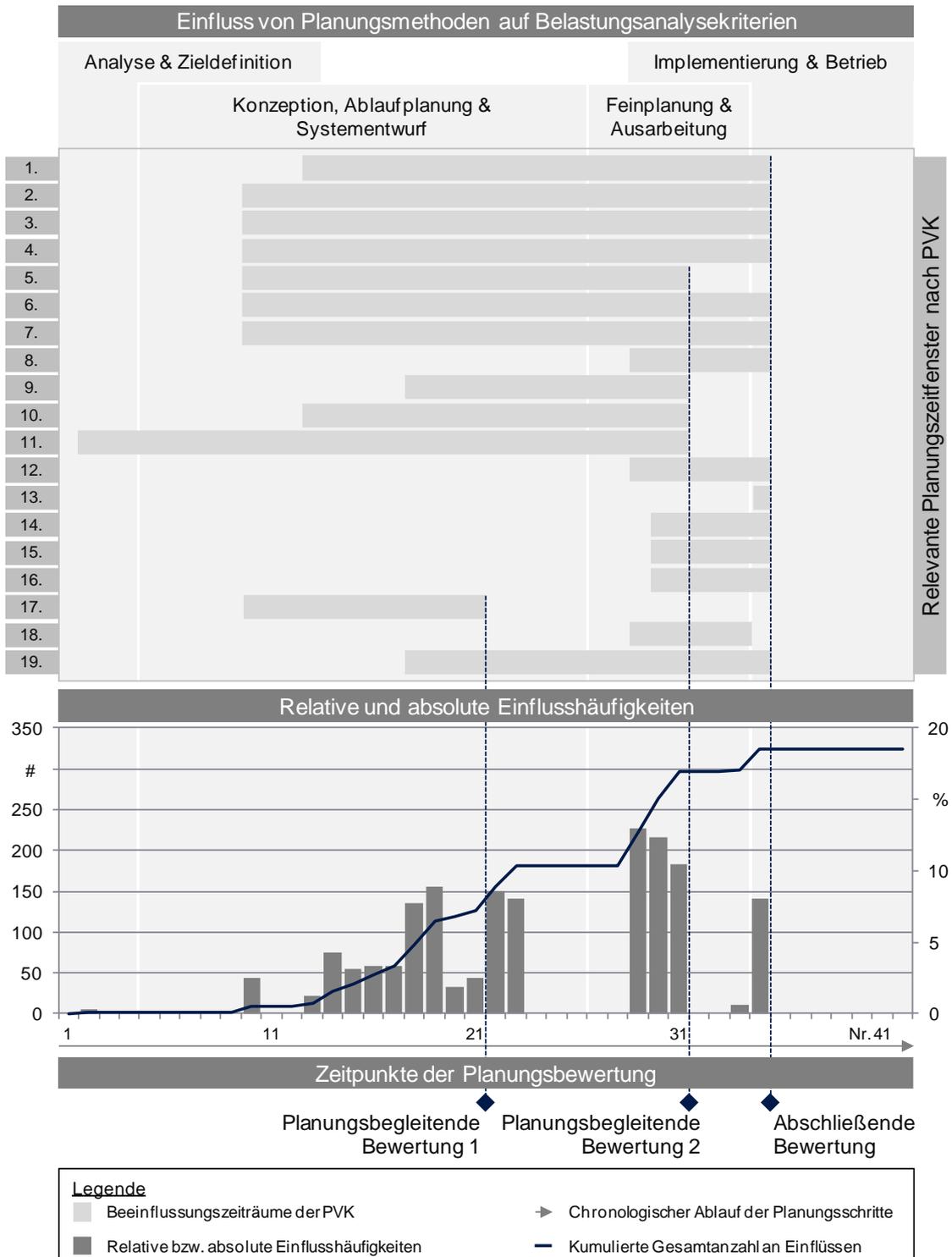


Abbildung 44: Ergebnis der Methode zur Festlegung von Bewertungszeitpunkten

Im Anschluss an die Auswahl des Groblayouts (entsprechend Planungsschritt Nr. 21 in Abbildung 44) sind sämtliche Attributwerte zur Ermittlung der Taktbindung (entsprechend Kriterium Nr. 17 in Abbildung 44) festgelegt. Die erste planungs-
begleitende Bewertung kann somit während der Konzeptionsphase des Montage-

systems anhand der bis zu diesem Planungszeitpunkt feststehenden Montagestruktur erfolgen. Die zweite Bewertung des aktuellen Planungsstandes findet im Anschluss an die endgültige Festlegung des Montagelayouts statt (Planungsschritt Nr. 31). Zusätzlich zu der bereits vorher feststehenden Taktbindung eines Arbeitsplatzes können die Beweglichkeit der Arme (Kriterium 5), die Beweglichkeit der Kniegelenke (Kriterium 9), die Steh-, Sitz- und Gehanteile an der Arbeitsausführung (Kriterium 10) und die Handhabung von Lasten (Kriterium 11) bewertet werden. Nach der Betriebsmittelkonstruktion werden die Belastungen der noch ausstehenden Kriterien festgelegt, so dass die abschließende Bewertung der Einsetzbarkeit Leistungsgewandelter vor der Personaleinsatzplanung stattfinden und der Planungsstand nach Bedarf adaptiert werden kann (Planungsschritt 35).

6.2.2.3 Festlegung von Planungszielen

Ausgehend von der beschriebenen Datenbasis und den zuvor dargestellten Annahmen werden für das Anwendungsbeispiel die in Tabelle 16 dargestellten Zielwerte festgelegt.

Tabelle 16: Zielwerte von Anwendungsbeispiel 1

Zielintegrationsgrad	Zieleinsatzflexibilität
$\bar{I} = 90 \%$	$\overline{F^M} = 2$

Aufgrund des mit 15 % relativ hohen Anteils an leistungsgewandelten Mitarbeitern und fehlender Job Rotation-Zyklen wird die Zuordnungsstrategie 1 („Geringe Anzahl anzupassender Arbeitsplätze“) ausgewählt, um den Anpassungsaufwand gering halten zu können. Um eine spätere Einführung von Job Rotation zu ermöglichen, soll jedoch jeder Leistungsgewandelte im Schnitt an zwei Arbeitsplätzen einsetzbar sein. Der mit 90 % hohe Zielintegrationsgrad wird ausgewählt, da leistungsgewandelte Mitarbeiter in hohem Umfang in der zukünftigen Montagesystemgeneration zum Einsatz kommen sollen.

6.2.2.4 Bewertung des Planungsstandes

Bei der ersten planungsbegleitenden Bewertung wird die Integrierbarkeit leistungsgewandelter Mitarbeiter in den aktuellen Planungsstand anhand des zu diesem Planungszeitpunkt feststehenden PVK 17 (Taktbindung) beurteilt. Eingangsdaten für die zweite planungsbegleitende Bewertung sind zusätzlich die PVK 5

(Beweglichkeit der Arme), 9 (Beweglichkeit der Kniegelenke), 10 (Anteile Stehen-Gehen-Sitzen) und 11 (Handhaben von Lasten). Bei der abschließenden Bewertung fließen alle Profilvergleichskriterien in die Eingangsdatenbasis ein.

Als Ergebnis der planungsbegleitenden Bewertungen werden die Zielwerte für Integrationsgrad und Einsatzflexibilität jeweils erreicht. Bei der zweiten Bewertung kann ein Mitarbeiter nicht ohne Adaption im Montagesystem eingesetzt werden, da der einzige belastungsseitig geeignete Arbeitsplatz durch einen weiteren leistungsgewandelten Mitarbeiter besetzt wird. Eine Anpassung des jeweils aktuellen Planungsstandes ist aufgrund der Erreichung der zuvor gesetzten Bewertungsziele nicht notwendig (Tabelle 17).

Tabelle 17: Zielerreichung bei der ersten und der zweiten planungsbegleitenden Bewertung

Integrationsgrad I_t		Einsatzflexibilität F_t^M	
Wert bei t_1	Zielwert \bar{I} erreicht?	Wert bei t_1	Zielwert $\overline{F^M}$ erreicht?
$I_1 = 100\%$	Ja	$F_1^M = 13,19$	Ja
Wert bei t_2	Zielwert \bar{I} erreicht?	Wert bei t_2	Zielwert $\overline{F^M}$ erreicht?
$I_2 = 93,33\%$	Ja	$F_2^M = 8,2$	Ja

Bei der abschließenden Bewertung sind erstmals alle Belastungsanalysekriterien bewertbar. Tabelle 18 zeigt, dass bei gleichzeitiger Erreichung des Zielwertes für die Einsatzflexibilität der Zielintegrationsgrad \bar{I} nicht erreicht wird und daher der Planungsstand einer Anpassung bedarf. Um den angestrebten Integrationsgrad zu erreichen, ist mindestens ein Arbeitsplatz anzupassen. An diesem Arbeitsplatz ist für den zugeordneten Mitarbeiter eine Reduktion der Arbeitsbelastung um eine Stufe für das kritische Belastungsanalysekriterium notwendig.

Tabelle 18: Zielerreichung bei der abschließenden Planungsbewertung

Integrationsgrad I_t		Einsatzflexibilität F_t^M	
Wert bei t_3	Zielwert \bar{I} erreicht?	Wert bei t_3	Zielwert $\overline{F^M}$ erreicht?
$I_3 = 86,67\%$	Nein	$F_3^M = 2,29$	Ja
Anzupassende Arbeitsplätze A_3^A	Adaptionsaufwand A_3^K	Fähigkeitsnutzungsgrad G_3^M	
$A_3^A = 1$	$A_3^K = -1$	$G_3^M = 75,99\%$	

6.2.2.5 Anpassung des Planungsstandes

Aufgrund der abschließenden Bewertung und der Unterschreitung des Zielintegrationsgrades wird zur Priorisierung des Adaptionbedarfes das Sortierungskriterium entsprechend Formel (27) angewendet. Für die ausgewählte Mitarbeiter-Arbeitsplatzkombination ist die Belastung des ABA-Kriteriums „Überwiegende Arbeitshöhe im Stehen“ um ein Belastungsniveau zu verringern. Durch die mit Hilfe des Moduls zur Anpassung des Planungsstandes vorgeschlagenen Maßnahmen kann diese Arbeitsbelastung reduziert werden, so dass zum Abschluss der Bewertung ein Zielintegrationsgrad von 93,33 % erreicht werden kann. Als Ergebnis der Gesamtmethodik kann die Einsetzbarkeit der leistungsgewandelten Mitarbeiter trotz des mit 80 % hohen Anteils an überkritischen Arbeitsbelastungen sichergestellt werden.

6.2.3 Anwendungsbeispiel 2

Die Auswahl der Zuordnungsstrategie ist abhängig von einer Vielzahl an projektspezifischen Einflüssen (vgl. Abschnitt 5.3.1.4). Ziel des zweiten Anwendungsbeispiels ist daher, den Einfluss der Zuordnungsstrategie auf das Methodikergebnis zu verdeutlichen und im Anschluss Vor- und Nachteile der Strategien aufzuzeigen. Zu diesem Zweck werden die vier alternativ einsetzbaren Strategien anhand von sechs verschiedenen Belastungsszenarien angewendet und die gemittelten Ergebniswerte für zuvor definierte Kennzahlen gegenübergestellt.

6.2.3.1 Eingangsdaten

Tabelle 19 zeigt die in Anwendungsbeispiel 2 genutzten alternativen Belastungsdaten. Diese umfassen jeweils einhundert Arbeitsplätze und nutzen die 19 vom ABA-Verfahren vorgegebenen Belastungsanalysekriterien. Zur Ableitung realitätsnaher Datenszenarien wurden im Rahmen des Teilprojektes „Montagesysteme und -strukturen“ des von der Bayerischen Forschungsförderung geförderten Forschungsverbundes „FitForAge“ in Zusammenarbeit mit Industrieunternehmen Mitarbeiter- und Belastungsdaten in der Montage erhoben. Diese Datenquellen dienen, ergänzt um wissenschaftlich publizierte Erkenntnisse, als Eingangsin-

formation für die dargestellten Szenarien.³⁸ Auch im zweiten Anwendungsbeispiel wird die in Abschnitt 6.2.2.1 vorgestellte Modellbelegschaft verwendet.

Tabelle 19: Belastungsszenarien von Anwendungsbeispiel 2

Nr.	Erläuterung	Anteil der Belastungsintensitäten an der Gesamtanzahl an Belastungswerten			
		Keine Belastung	„Grüne“ Belastung	„Gelbe“ Belastung	„Rote“ Belastung
1	Keine überkritischen Belastungen	0 %	100 %	0 %	0 %
2	20 % überkritische Belastungen	10 %	70 %	15 %	5 %
3	40 % überkritische Belastungen	10 %	50 %	30 %	10 %
4	60 % überkritische Belastungen	10 %	30 %	45 %	15 %
5	80 % überkritische Belastungen	10 %	10 %	60 %	20 %
6	100 % überkritische Belastungen	0 %	0 %	50 %	50 %

6.2.3.2 Einfluss und Eignung der Zuordnungsstrategien

Der Einfluss der Auswahl einer Zuordnungsstrategie auf das Bewertungsergebnis ist Tabelle 20 zu entnehmen. Diese zeigt die durchschnittlichen Kennzahlwerte jeder Zuordnungsstrategie anhand der definierten Belastungsszenarien.

Tabelle 20: Einfluss der Zuordnungsstrategie auf die Zuordnungsergebnisse

Kennzahl	Gemittelte Ergebnisse der Zuordnungen auf Basis der sechs Belastungsszenarien			
	Strategie 1	Strategie 2	Strategie 3	Strategie 4
I_t	62 %	62 %	49%	25%
F_t^M	53,2	53,2	56,3	69,5
A_t^A	5,7	5,7	7,7	11,3
A_t^K	-11	-10	-14,2	-18,7
G_t^M	66 %	68 %	73 %	66 %

Die Bewertungen zeigen über alle Kennzahlen vergleichbare Ergebnisse für Strategie 1 und Strategie 2. Der Integrationsgrad von Strategie 3 liegt im Vergleich zu Strategie 1 und Strategie 2 um 13 % geringer. Die Anzahl anzupassender Arbeitsplätze und die Anzahl anzupassender Kriterien liegen für Strategie 3 um 35 % bzw. 42 % höher als bei Strategie 2. Die Einsatzflexibilität steigt im Vergleich zu Strategie 1 und Strategie 2 um 5,8 %.

³⁸ So werden etwa in der Fahrzeugendmontage etwa 60 % der Ganzkörperhaltungen als belastend eingestuft (STANIĆ 2010, S. 93 ff.). 95 % der Arbeitsplätze in einem Automobilwerk sind taktabhängig (PRASCH 2010, S. 74).

Tabelle 21: Vor- und Nachteile der Zuordnungsstrategien

Strategie 1: Minimierung der Anzahl an Arbeitsplätzen mit negativen Eignungskoeffizienten	
Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> • Geringer planerischer Integrationsaufwand durch Fokussierung auf wenige Arbeitsplätze • Hoher Integrationsnutzen eingesetzter Maßnahmen 	<ul style="list-style-type: none"> • Betrachtung Leistungsgewandelter aus Defizitsicht • Frühzeitige Bewertung von Alternativen im Umgang mit Leistungsgewandelten nötig • Geringster Beitrag zur Erhöhung der Einsatzflexibilität und damit zu Job Rotation-Zyklen für Leistungsgewandelte • Entstehung von Schonarbeitsplätzen und -bereichen • Geringste Verringerung systemweiter Belastungen durch Fokussierung auf wenige Arbeitsplätze
Strategie 2: Minimierung des Betrags negativer Eignungskoeffizienten	
Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> • Geringer planerischer Integrationsaufwand durch Fokussierung auf geringes zu adaptierendes Delta zwischen Fähigkeiten und Belastungen • Höchster Integrationsnutzen eingesetzter Maßnahmen 	<ul style="list-style-type: none"> • Betrachtung Leistungsgewandelter aus Defizitsicht • Frühzeitige Bewertung von Alternativen im Umgang mit Leistungsgewandelten nötig • Geringer Beitrag zur Erhöhung der Einsatzflexibilität und damit zu Job Rotation-Zyklen für Leistungsgewandelte • Geringe Verringerung systemweiter Belastungen
Strategie 3: Minimierung des Betrags positiver Eignungskoeffizienten	
Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> • Betrachtung Leistungsgewandelter aus Potenzialsicht • Höchste Nutzung vorhandener Mitarbeiterfähigkeiten • Vermeidung von Schonarbeitsplätzen oder -bereichen, da Belastungen nicht bei der Zuordnung berücksichtigt werden • Systemweit geringeres Belastungsniveau durch Anpassung einer relativ großen Anzahl an Arbeitsplätzen 	<ul style="list-style-type: none"> • Hoher planerischer Integrationsaufwand • Hoher Anpassungsaufwand
Strategie 4: Maximierung des Betrags positiver Eignungskoeffizienten	
Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> • Betrachtung Leistungsgewandelter aus Potenzialsicht • Geringste Beanspruchung leistungsgewandelter Mitarbeiter entlang des gesamten PVK-Spektrums • Vermeidung von Schonarbeitsplätzen oder -bereichen, da Belastungen nicht bei der Zuordnung berücksichtigt werden • Systemweit geringeres Belastungsniveau durch Anpassung einer relativ großen Anzahl an Arbeitsplätzen 	<ul style="list-style-type: none"> • Hoher planerischer Integrationsaufwand • Hoher Anpassungsaufwand • Defizitsicht, ohne Potenzialsicht einzunehmen

Das Ziel, vorhandene Fähigkeiten möglichst stark zu nutzen, drückt sich in einer Steigerung des Fähigkeitsnutzungsgrades um 7 % im Vergleich zu Strategie 1 und um 5 % im Vergleich zu Strategie 2 aus. Der Integrationsgrad von Strategie 4 sinkt hingegen im Vergleich zu Strategie 1 und Strategie 2 um 37 %. Die Anzahl anzupassender Arbeitsplätze und die Anzahl anzupassender Kriterien steigen um 98 % bzw. 87 % im Vergleich zu Strategie 2. Parallel erhöht sich die Einsatzflexibilität im Vergleich zu Strategie 1 und Strategie 2 nur um 31%. Einer Erhöhung der Einsatzflexibilität um 31 % steht somit nahezu eine Verdoppelung der Anzahl anzupassender Arbeitsplätze und der Anzahl anzupassender Kriterien gegenüber. Auch das Ziel, integrierte leistungsgewandelte Mitarbeiter möglichst gering zu belasten, führt zu dem gleichen Ergebnis wie bei Strategie 1, die eine Schonung leistungsgewandelter Mitarbeiter zugunsten eines geringen Anpassungsaufwands in den Hintergrund stellt.

Zusammenfassend stellt Tabelle 21 diese Erkenntnisse in Verbindung mit den Charakteristika der Zuordnungsstrategien dar, indem jeweilige Vor- und Nachteile gegenübergestellt werden.

6.2.4 Zusammenfassung

Anwendungsbeispiel 1 verdeutlicht die sich mit fortschreitendem Planungsstand eingrenzende Einsetzbarkeit leistungsgewandelter Mitarbeiter: Durch die zunehmende Bewertbarkeit weiterer Analyse Kriterien entstehen Belastungssituationen, die die Anzahl an möglichen Arbeitsplätzen für Leistungsgewandelte verringern. Bei der planungsbegleitenden Bewertung kann belastungsseitig noch eine ausreichende Arbeitsplatzanzahl zur Verfügung stehen. Durch das Einbringen nur einer überkritischen Belastung können jedoch zuvor geeignete Arbeitsplätze wegfallen und müssen zur Erreichung der Zielwerte für den Integrationsgrad und die Einsatzflexibilität angepasst werden. Die Zuordnungsstrategien besitzen aufgrund ihrer Zielsetzungen unterschiedliche Auswirkungen auf Integrationsgrad, Einsatzflexibilität, Anzahl anzupassender Arbeitsplätze, Anpassungsaufwand und Nutzungsgrad vorhandener Mitarbeiterfähigkeiten. Anwendungsbeispiel 2 zeigt anhand typischer Belastungsprofile von Montagesystemen, wie sich die Auswahl der Zuordnungsstrategie auf das Methodikergebnis auswirkt.

6.3 Bewertung der Methodik

Im Anschluss an die Vorstellung von Anwendungsbeispielen wird die Methodik in diesem Abschnitt anhand der in Abschnitt 4.1 erläuterten Anforderungen bewertet. Zudem werden Aufwand und Nutzen der Methodik gegenübergestellt.

6.3.1 Erfüllung der spezifischen Anforderungen

Abbildung 45 zeigt zusammenfassend die Erfüllung der in Abschnitt 4.1 gestellten Anforderungen an die Methodik zur Identifikation und Adaption von Arbeitsplätzen für leistungsgewandelter Mitarbeiter entlang des Montageplanungsprozesses.

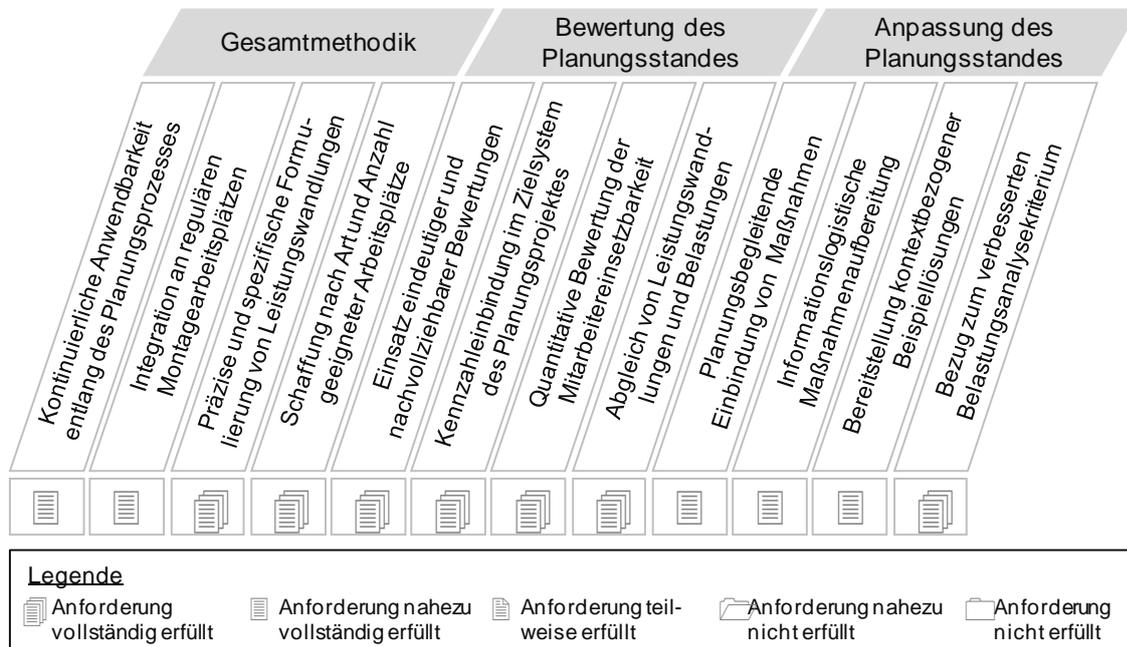


Abbildung 45: Erfüllung der Anforderungen an die Methodik

Durch die Verknüpfung eines referenzierbaren Vorgehens zur Montageplanung mit Profilvergleichsdaten und jeweils aktuellen Belastungsinformationen kann eine direkte Transferierbarkeit in die Unternehmenspraxis erreicht werden. Die Auswahl von Bewertungs- und Anpassungszeitpunkten verringert den Aufwand für Sammlung, Aufbereitung und Verwendung von Belastungsdaten innerhalb der Methodik. Die kriterienweise Bewertung unter noch unvollständigen Belastungsinformationen trägt der Forderung Rechnung, Mitarbeiterbelange bereits in der Konzeptionsphase eines Montagesystems zu berücksichtigen. So wird abschließend zwar keine kontinuierliche, aber eine zeitdiskrete Bewertung des Planungsstandes an belastungsrelevanten Planungszeitpunkten erreicht.

Die Verwendung von Zuordnungsstrategien ermöglicht die Identifikation mitarbeiterindividuell geeigneter Arbeitsplätze ohne zwangsläufige Zuweisung Leistungsgewandelter zu gering belastenden Arbeitsplätzen, die in heutigen Montagesystemen als Schonarbeitsplätze ausgewiesen werden. Bereiche mit mehreren Schonarbeitsplätzen können im Rahmen der entwickelten Methodik vermieden werden, indem jeweils ein Zuordnungsproblem je Mitarbeiter- und Arbeitsplatzgruppe parallel gelöst wird. Zusätzlich bietet die Auswahl einer von vier Zuordnungsstrategien die Möglichkeit zur Spezifizierung der Methodik für die Anforderungen konkreter Planungsprojekte. Eine präzise und spezifische Formulierung von Leistungswandlungen und der Abgleich von Leistungswandlungen mit Arbeitsbelastungen wird durch die systematische Nutzung von Profilvergleichssystemen in der Montageplanung erreicht. Gleiches gilt für die im Rahmen der Methodik genutzten Bewertungsinstrumente: Innerhalb der Methodik genutzte Kennzahlen werden in das Zielsystem des Planungsprojektes eingebunden, indem vor Beginn der Konzeptionsphase konkrete Zielvorgaben festgelegt werden. Werden diese unterschritten, so schließt sich an die Bewertung eine Anpassung des Planungsstandes an. Auf diese Weise wird gleichzeitig die Einsetzbarkeit leistungsgewandelter Mitarbeiter bewertet und es werden nach Art und Anzahl geeignete Arbeitsplätze geschaffen.

Die Methodik bietet eine quantitative Ermittlung von Adaptionbedarfen über kritische Belastungen hinausgehend. Die planungsbegleitende Einbindung von verfügbaren Maßnahmen wird durch die Bewertung des Potenzials zur Belastungsverringerung unterstützt. Auf diese Weise werden produkt-, montageprozess-, arbeitsplatz- und mitarbeiterspezifische Anforderungen an die Arbeitsplatzgestaltung gleichermaßen berücksichtigt. Eine datenbankseitige Aufbereitung von Maßnahmen erfüllt informationslogistische Anforderungen und bietet kontextbezogene Beispiellösungen: Das weitreichende Prozessspektrum der industriellen Montage und die stark von den Rahmenbedingungen der Montage abhängige Realisierbarkeit erfordern an jedem Arbeitsplatz angepasste Lösungen. Die Abbildung der Einflussfaktoren auf die Arbeitsgestaltung in einer Maßnahmendatenbank zu Forschungszwecken führt notwendigerweise zu einer Reduktion auf die prinzipielle Funktionsweise. Die Anpassung des aufgezeigten Vorgehens ist jedoch für den Einsatz in industriellen Umgebungen durch Eingrenzung auf konkret vorliegende Planungsanforderungen möglich.

Über diese Anforderungen hinaus lässt sich der Planungsstand sowohl für Real- als auch für Modellbelegschaften bewerten, so dass für heutige Mitarbeiter ge-

eignete Arbeitsplätze geschaffen, aber auch die Eignung des Montagesystems für zukünftige Belegschaften ermittelt werden kann.

Neben dem Erfüllungsgrad gestellter Anforderungen sind für eine umfassende Bewertung Aspekte der Datenqualität und -verfügbarkeit im praktischen Einsatz zu berücksichtigen. Ferner wurde die Validität der durch Profilvergleichsverfahren klassifizierten Belastungs- und Fähigkeitsniveaus im Rahmen der Arbeit nicht geprüft, sondern es wurden Profilvergleichsdaten als reine Eingangsinformation der Methodik verwendet: Der Einsatz Erfolg der Methodik ist jedoch sehr stark von der grundlegenden Verfügbarkeit korrekter Klassifizierungen für Mitarbeiterfähigkeiten abhängig.

Besonders für leistungsgewandelte Mitarbeiter stellen unterkritische Arbeitsbelastungen Einsatzhemmnisse dar. Die Präzision der Belastungsbewertung hängt von der Festlegung von Bewertungszeitpunkten und der Expertise derjenigen Personen ab, die vor allem in frühen Montageplanungsphasen auf Basis unvollständiger oder veränderlicher Informationen entstehende Arbeitsbelastungen erheben. Fähigkeits- und Belastungsdaten als wesentliche Eingangsinformationen der Methodik stellen daher zwangsläufig eine Voraussetzung dar.

6.3.2 Aufwand und Nutzen

Die Bewertung von Aufwand und Nutzen der entwickelten Methodik und damit der Wirtschaftlichkeit hängt stark von unternehmensspezifischen Faktoren und Rahmenbedingungen wie etwa der Anzahl an Arbeitsplätzen im zu planenden Montagesystem ab. Bereits bei ergonomischen Einzelmaßnahmen besteht das Problem, dass der Nutzen zwar eingeschränkt auf den Anwendungsfall, aber nicht allgemeingültig berechenbar ist (LANDAU 2002, PRASCH 2010). Herkömmliche Verfahren der Wirtschaftlichkeitsrechnung vernachlässigen zudem die Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter (SCHULTETUS 2004, S. 149). Daher kann keine allgemein geltende monetäre Gegenüberstellung von Aufwand und Nutzen einer Methodikanwendung durchgeführt werden. Die folgenden Ausführungen zeigen jedoch zu berücksichtigende Faktoren bei der Bewertung konkreter Anwendungsfälle.

Aufwand für anwendende Unternehmen entsteht bei der Erhebung benötigter Eingangsdaten der Methodik, der Bewertung des Planungsstandes und der Anpassung von Arbeitsplätzen.

Benötigte Mitarbeiterdaten liegen bei anwendenden Unternehmen in Form von Profilvergleichsdaten vor, Belastungsdaten müssen entlang des Montageplanungsprozesses erhoben werden. Diese Erhebung findet im Rahmen der Montageabsicherung statt, indem in frühen Phasen simulative Werkzeuge und digitale Prototypen, in späteren Planungsphasen auch physikalische Prototypen zur Belastungsbewertung eingesetzt werden (FLICK 2010). Der Aufwand zur Datenerhebung ist damit abhängig von den eingesetzten Analyseverfahren und Erhebungswerkzeugen, vorrangiger Kostentreiber ist der Personalaufwand. Der Umfang der zu erhebenden Belastungsdaten unterscheidet sich nicht wesentlich von der heutigen Vorgehensweise, verlagert sich bei Nutzung der Methodik jedoch stärker aus der Betriebs- in die Planungsphase des Montagesystems.

Im Vergleich zum heutigen Integrationsvorgehen entsteht bei der Bewertung des Planungsstandes zusätzlicher Aufwand, da mehrfach während der Planung Profilvergleiche durchgeführt werden. Durch den Einsatz der in Abschnitt 6.1 und im Anhang (S. 161 ff.) erläuterten Softwaremodule ist dieser Aufwand jedoch deutlich geringer als bei der reaktiven Identifikation von Arbeitsplätzen im Systembetrieb, die manuell ausgeführt wird. Die Software ermöglicht hinausgehend über die bisherige Einzelfallbetrachtung zusätzlich die Bestimmung einsatzkritischer Situationen für gesamte Belegschaften.

Die technische oder organisatorische Adaption von Arbeitsplätzen erfordert einerseits höheren Planungsaufwand vor Erstinbetriebnahme des Montagesystems. Dementgegen sind während des Systembetriebs keine aufwendigen Anpassungen der Arbeitsgestaltung notwendig, da die Personaleinsatzbarkeit bereits planungsbegleitend sichergestellt wird. Kostenintensive Änderungen an bestehenden Betriebsmitteln entfallen. Die Wirksamkeit eingesetzter Einzelmaßnahmen unterscheidet sich nicht vom bisherigen reaktiven Vorgehen, da sich unter Nutzung der entwickelten Methodik nur der Einsatzzeitpunkt der Maßnahme ändert.

Zusätzlicher Nutzen der Methodik entsteht durch die Verbesserung der Einsatzsituation Leistungsgewandelter in der Betriebsphase des Montagesystems, da geeignete Arbeitsplätze entsprechend den Mitarbeiterfähigkeiten zur Verfügung stehen. Die weitergehende Integrierbarkeit von Mitarbeitern vermeidet Kosten für die Suche nach einem geeigneten Arbeitsplatz und die Neubesetzung des bisherigen Arbeitsplatzes. Minderleistungskosten, Produktivitätsverluste und Kosten für Personalausfall verringern sich zudem bei einer geeigneten Arbeitsplatzgestaltung.

Zusammenfassend reduziert die Methodik den von LGW verursachten Zusatzaufwand für die Personaleinsatzplanung und die reaktive Adaption von Arbeitsstrukturen in der Betriebsphase des Montagesystems durch das rechtzeitige Erkennen und Beheben kritischer Einsatzsituationen. Der dem entgegenstehende Mehraufwand für das planungsbegleitende Vergleichen von Mitarbeiter- und Arbeitsplatzprofilen ist durch die entwickelten Softwarelösungen als vergleichsweise gering einzuschätzen.

7 Zusammenfassung und Ausblick

7.1 Zusammenfassung

Der demographische Wandel führt zu einer zunehmenden Anzahl an leistungsgewandelten Mitarbeitern, die in Zukunft stärker als bisher in wertschöpfende Montageprozesse eingebunden werden müssen. Bisherige Strategien im Umgang mit dem demographischen Wandel in der Produktion und entsprechende Maßnahmen auf makro- und mikroergonomischer Ebene bieten ein weitreichendes Spektrum an Gestaltungsmöglichkeiten. Zur einheitlichen Erhebung von Mitarbeiterfähigkeiten und Arbeitsbelastungen stehen Profilvergleichsverfahren zur Verfügung. Deren Einsatz beschränkt sich bisher jedoch auf die mitarbeiterindividuelle und reaktive Suche nach einem geeigneten Arbeitsplatz.

Um diese Ansätze nicht erst bei der Umgestaltung einzelner Arbeitsplätze, sondern proaktiv bereits bei der initialen Planung gesamter Montagesysteme nutzen zu können, bedarf es einer zielgerichteten Identifikation von Anpassungsbedarfen auf Systemebene und deren methodischer Nutzung durch Einbringung geeigneter Adaptionmaßnahmen.

Hierzu wurde unter Verwendung von Referenzprozessen für die Montageplanung eine Methode entwickelt, mit welcher die Einflüsse verwendeter Planungsmethoden auf Arbeitsbelastungen analysiert werden können. Im Anschluss wurden Planungszeitpunkte definiert, an welchen der aktuelle Planungsstand hinsichtlich der Integrierbarkeit leistungsgewandelter Mitarbeiter beurteilt werden kann.

Um unterschiedlichen Charakteristika dieser Bewertungszeitpunkte im Planungsverlauf gerecht zu werden, erfolgte die anschließende Priorisierung von Adaptionbedarfen sowohl auf Systemebene als auch mitarbeiterindividuell. Für die Bereitstellung geeigneter Maßnahmen während des Planungsprozesses wurde eine Softwarelösung umgesetzt, die vielfältige Informationen für verfügbare Maßnahmen bereitstellt und zudem ebenfalls mit dem Referenzplanungsprozess verknüpft wird, um eine möglichst aufwandsarme planungsbegleitende Nutzung zu gewährleisten.

Die vorliegende Arbeit weist somit nach, dass durch die gezielte Verwendung und Adaption von bestehenden Lösungsverfahren für Zuordnungsprobleme und von Ansätzen zur Referenzmodellierung von Montageplanungsprozessen ein

Mehrwert für die Produktionstechnik geleistet werden kann. Die planungsbegleitende Identifikation und Adaption nach Art und Anzahl geeigneter Arbeitsplätze für leistungsgewandelte Mitarbeiter wird ermöglicht.

Ergänzend zur bisher reaktiven Vorgehensweise lassen sich mit Hilfe der entwickelten Methodik Montagesysteme und -arbeitsplätze auch für leistungsgewandelte Mitarbeiter planen.

7.2 Ausblick

Die Bewertung der Methodik zeigt, dass gestellte Anforderungen durch die entwickelte Methodik erfüllt, aber weitere Entwicklungspotenziale identifiziert werden können. Diese betreffen die Erweiterung der Eingangsdatenbasis hinausgehend über Profilvergleichsdaten. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, weitere Optimierungsansätze in die Mitarbeiterzuordnung und die Planungsbewertung einzubinden.

Durch die aus der Literatur abgeleitete Abgrenzung von Leistungswandlungen werden Beeinträchtigungen der Leistungsfähigkeit fokussiert. Die Nutzung vorhandener Fähigkeiten Leistungsgewandelter wird, soweit durch verfügbare Daten möglich, durch Auswahl einer entsprechenden Zuordnungsstrategie ermöglicht. Profilvergleichsverfahren für die Montage erlauben derzeit jedoch keine fähigkeitsgerechte Zuordnung von Mitarbeitern zu Arbeitsplätzen, weil über Leistungswandlungen hinausgehend Mitarbeiterfähigkeiten nicht mit einheitlichen Bewertungsmaßstäben erhoben werden. Zur weiteren Präzisierung der Montage- und Personaleinsatzplanung sind daher stärker potenzialorientierte Profilvergleichsverfahren und entsprechende Kriterienformulierungen in Verbindung mit praxistauglichen, d. h. validen und aufwandsarmen Erhebungs- und Beurteilungsmethoden notwendig. Die Grundstruktur der Methodik stellt für diesen nächsten Schritt einen geeigneten Ausgangspunkt dar, da einsatzrelevante Einflussfaktoren auch auf Mitarbeiterpotenziale zutreffen.

Weiterentwicklungen müssen zudem die Reversibilität von Leistungswandlungen berücksichtigen: Für die systematische Gestaltung eines Montagesystems und die Planung des Personaleinsatzes stellen reversible Einschränkungen einen Turbulenzfaktor bei der Entwicklung geeigneter Arbeitsplätze für kurz- bis mittelfristige Anpassungen im Personaleinsatz dar. Detaillierte empirische Untersuchungen zu

Art, Akkumulation und Zeitdauer dieser Einschränkungen bieten erste Anhaltspunkte für die zusätzliche Bereitstellung geeigneter Arbeitsplätze.

Durch die Beschränkung auf Profilvergleichsdaten und die Fokussierung eines systemweit geeigneten Mitarbeitereinsatzes besitzt die Methodik einen hohen Abstraktionsgrad. Sie folgt dem Grundgedanken, die physische Einsetzbarkeit in der Montage als Vorbedingung für den qualifikationsgerechten Personaleinsatz anzusehen. Die Einbindung der Qualifikation eines Mitarbeiters für einen Arbeitsplatz als zusätzliche Prämisse für den Personaleinsatz ist etwa durch eine zweistufige Optimierung denkbar: Zunächst werden Mitarbeiter mit dem Ziel einer hohen Einsatzflexibilität anhand von Profilvergleichsdaten den durch sie ausführbaren Arbeitsplätzen zugeordnet, im Anschluss erfolgt eine qualifikationsgerechte Zuordnungsfestlegung. Gleiches gilt für die Berücksichtigung von Aufwendungen in die Mitarbeiterqualifizierung.

Zur Erreichung der teilweise gegenläufigen Integrationsziele sind für den nächsten Entwicklungsschritt multikriterielle Zielfunktionen und entsprechende Lösungsverfahren zu entwickeln, welche die Fähigkeitsnutzung und den Integrationsaufwand parallel optimieren. Weiterhin ist eine Verknüpfung des Matchings mit Bestimmungsgrößen der arbeitsbezogenen Leistungsfähigkeit anzuraten, um den Einfluss unterschiedlicher Zuordnungen auf die Leistungsfähigkeit eines Montagesystems simulativ bewerten zu können.

Literaturverzeichnis

ADENAUER 2004

Adenauer, S.: Die (Re-)Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter in den Arbeitsprozess – Das Projekt FILM bei Ford Köln. *Angewandte Arbeitswissenschaft* (2004) 181, S. 1-18.

AKMAN ET & ALLES 2008

Akman, E.; Alles, T.: MARIE – Matching Abilities and Requirements to Increase Evidence, Version 1.2. Köln: iqpr GmbH 2008.

ALAVINIA ET AL. 2009

Alavinia, S. M.; Molenaar, D.; Burdorf, A.: Productivity Loss in the Workforce: Associations With Health, Work Demands, and Individual Characteristics. *American Journal of Industrial Medicine* 52 (2009) 1, S. 49-56.

ANNEKEN 2006

Anneken, V.: Entwicklung und Überprüfung eines Assessmentmoduls zur FCE-basierten Beurteilung arbeitsbezogener Leistungsfähigkeit anhand des IMBA-Verfahrens. Köln: 2006. (Dissertation Deutsche Sporthochschule Köln)

ARBEITSKREIS ERGONOMIE 2002

Arbeitskreis Ergonomie: Leitfaden zur Anforderungs- und Belastbarkeitsanalyse. Version 3.0 Stand 11/02. München: BMW Group 2002.

ARBEITSUNFÄHIGKEITS-RICHTLINIEN 2004

Bundesministerium für Gesundheit und Soziale Sicherung (Hrsg.): Bekanntmachung des Bundesausschusses der Ärzte und Krankenkassen über die Beurteilung der Arbeitsunfähigkeit und die Maßnahmen zur Wiedereingliederung (Arbeitsunfähigkeits-Richtlinien). § 92 Abs.1 Satz 2 Nr. 7 SGB V. Köln: Bundesanzeiger 29.03.2004.

BAASE 2007

Baase, C. M.: Auswirkungen chronischer Krankheiten auf Arbeitsproduktivität und Absentismus und daraus resultierende Kosten für die Betriebe. In: Badura, B.; Schellenschmidt, H.; Vetter, C. (Hrsg.): *Fehlzeiten-Report 2006*. Berlin: Springer 2007, S. 45-59.

BAINES ET AL. 2004

Baines, T.; Mason, S.; Siebers, P.-O.; Ladbrook, J.: Humans: the missing link in manufacturing simulation? *Simulation Modelling Practice and Theory* 12 (2004) 7-8, S. 515-526.

BALOGH ET AL. 2006

Balogh, I.; Ohlsson, K.; Hansson, G.-A.; Engström, T.; Skerfving, S.: Increasing the degree of automation in a production system: Consequences for the physical workload. *International Journal of Industrial Ergonomics* 36 (2006) 4, S. 353-365.

BALTES & BALTES 1992

Baltes, P. B.; Baltes, M. M.: Gerontologie: Begriff, Herausforderung und Brennpunkte. In: Baltes, P. B.; Mittelstrass, J., Staudinger, U.M. (Hrsg.): Alter und Altern. Berlin: de Gruyter 1992, S. 1-34.

BAO ET AL. 1997

Bao, S.; Winkel, J.; Mathiassen, S. E.; Shahnava, H.: Interactive effect of ergonomics and production engineering on shoulder-neck-exposure – a case study of assembly work in China and Sweden. *International Journal of Industrial Ergonomics* 20 (1997) 1, S. 75-85.

BATTINI ET AL. 2011

Battini, D.; Faccio, M.; Persona, A.; Sgarbossa, F.: New methodological framework to improve productivity and ergonomics in assembly system design. *International Journal of Industrial Ergonomics* 41 (2011) 1, S. 30-42.

BAYBARS 1986

Baybars, I.: A Survey of Exact Algorithms for the Simple Assembly Line Balancing Problem. *Management Science* 32 (1986) 8, S. 909-932.

BECK 2008

Beck, M.: Integrationsmanagement in der Praxis – Erfahrungen aus einem Großunternehmen. Sindelfingen: 22.02.2008.

BERLIN ET AL. 2009

Berlin, C.; Örtengren, R.; Lämkuil, D.; Hanson, L.: Corporate-internal vs. national standard – A comparison of two ergonomics evaluation procedures used in automotive manufacturing. *International Journal of Industrial Ergonomics* 39 (2009) 6, S. 940-946.

BEUCHE 1981

Beuche, E.: Alternative Teilungstiefen bei manueller Montage. Berlin: 1981. (Dissertation TU Berlin)

BHADURY & RADOVILSKY 2006

Bhadury, J.; Radovilsky, Z.: Job rotation using the multi-period assignment model. *International Journal of Production Research* 44 (2006) 20, S. 4431-4444.

BMFSFJ 2008

Bundesministerium für Familie, Senioren, Frauen und Jugend (BMFSFJ) (Hrsg.): Erfahrung rechnet sich – Aus Kompetenzen Älterer Erfolgsgrundlagen schaffen. Berlin 2008.

BOGUS 2002

Bogus, T.: Simulationsbasierte Gestaltung von Arbeitszeitmodellen in Dienstleistungsbetrieben mit kundenfrequenzabhängigem Arbeitszeitbedarf. Aachen: Shaker 2002. (Forschungsberichte aus dem Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation der Universität Karlsruhe 31).

BOGUS & DORN 2009

Bogus, T.; Dorn, R.: Demographischer Wandel – Lösungsansätze bei Audi. In: Zülch, G., Stock, P. (Hrsg.): Auswirkungen der demographischen Entwicklung in Montagesystemen. Karlsruhe: Universität Karlsruhe (TH) 2009, S. 54-63.

BOGUS & DORN 2010

Bogus, T.; Dorn, R.: Berücksichtigung des Arbeitsplatzbedarfs für einsatzkritische leistungsgewandelte Mitarbeiter im Planungsprozess. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (Hrsg.): Neue Arbeits- und Lebenswelten gestalten. Dortmund: GfA-Press 2010, S. 265-268.

BOKRANZ & LANDAU 2006

Bokranz, R.; Landau, K.: Produktivitätsmanagement von Arbeitssystemen. Stuttgart: Schäffer-Poeschel 2006.

BÖRSCH-SUPAN ET AL. 2007

Börsch-Supan, A.; Düzgün, I.; Weiss, M.: Der Zusammenhang zwischen Alter und Arbeitsproduktivität: Eine empirische Untersuchung auf Betriebsebene (Forschungsbericht Projekt-Nr. 2004-697-3). Mannheim: Hans-Böckler-Stiftung 2007.

BÖRSCH-SUPAN & WEISS 2008

Börsch-Supan, A.; Weiss, M.: Productivity and the Age Composition of Work Teams: Evidence from the Assembly Line. Mannheim: MEA Discussion Paper No. 148-07 (2008).

BRANDIMARTE 1999

Brandimarte, P.: Modeling manufacturing systems. Berlin: Springer 1999.

BROBERG 2007

Broberg, O.: Integrating Ergonomics Into Engineering: Empirical Evidence and Implications for the Ergonomists. Human Factors and Ergonomics in Manufacturing 17 (2007) 4, S. 353-366.

BRUDER ET AL. 2008

Bruder, R.; Kugler, M.; Sinn-Behrendt, A.; Schaub, K.; Ghezal-Ahmadi, K.; Feith, A.: Introduction of Ergonomics into Production Development Process: An Approach. In: Karwowski, W.; Salvendy, G. (Hrsg.): Proceedings of the 2nd International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE). Las Vegas, 14.-17.07.2008.

BRUDER ET AL. 2009

Bruder, R.; Rademacher, H.; Schaub, K.; Geiss, C.: Modular Concepts for Integrating Ergonomics into Production Processes. In: Schlick, C. M. (Hrsg.): Industrial Engineering and Ergonomics. Berlin: Springer 2009, S. 383-394.

BUBB 2007

Bubb, H.: Ergonomische Arbeitsbewertung. In: Schäfer, E. (Hrsg.): Arbeitsleben! Kassel: Kassel University Press 2007, S. 152-177.

BUCK ET AL. 2002

Buck, H.; Kistler, E.; Mendius, H. G.: Demographischer Wandel in der Arbeitswelt – Chancen für eine innovative Arbeitsgestaltung. Stuttgart: 2002. (Broschürenreihe Demographie und Erwerbsarbeit)

BUCK & DWORSCHAK 2003

Buck, H.; Dworschak, B.: Ageing and work in Europe – Strategies at company level and public policies in selected European countries. Stuttgart: Fraunhofer-IRB-Verlag 2003.

BUCK & SCHLETZ 2004

Buck, H.; Schletz, A.: Ergebnisse des Transferprojektes Demotrans. Stuttgart: Broschürenreihe „Demographie und Erwerbsarbeit“ 2004.

BULLINGER & AMMER 1986

Bullinger, H.-J.; Ammer, D.: Systematische Montageplanung – Handbuch für die Praxis. München: Hanser 1986.

BULLINGER & TRAUT 1986

Bullinger, H.-J.; Traut, L.: Die Fabrik der Zukunft. Fortschrittliche Betriebsführung und Industrial Engineering 35 (1986) 1, S. 4-12.

BULLINGER & GOMMEL 1995

Bullinger, H.-J.; Gommel, M.: Arbeitsgestaltung – Personalorientierte Gestaltung marktgerechter Arbeitssysteme. Stuttgart: Teubner 1995.

BURNS & VICENTE 2000

Burns, C. M.; Vicente, K. J.: A participant-observer study of ergonomics in engineering design: how constraints drive design processes. Applied Ergonomics 31 (2000) 1, S. 73-82.

CAFFIER ET AL. 1999

Caffier, G.; Steinberg, U.; Liebers, F.: Praxisorientiertes Methodeninventar zur Belastungs- und Beanspruchungsbeurteilung im Zusammenhang mit arbeitsbedingten Muskel-Skelett-Erkrankungen. Dortmund/Berlin: Bundesamt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin 1999.

CAO & WANG 2010

Cao, L.; Wang, B.: Personnel Assignment for Assembly Production with Worker Differences. In: Hassanien, A. E. (Hrsg.): 10th International Conference on Intelligent Systems Design and Applications (ISDA). Piscataway: IEEE 2010, S. 1476-1480.

CAREY & GALLWEY 2002

Carey, E. J.; Gallwey, T. J.: Evaluation of human postures with computer aids and virtual workplace designs. International Journal of Production Research 40 (2002) 4, S. 826-843.

CARNAHAN ET AL. 2001

Carnahan, B. J.; Norman, B. A.; Redfern, M. S.: Incorporating physical demand criteria into assembly line balancing. *IIE Transactions* 33 (2001) 10, S. 875-887.

COLOMBINI & OCCHIPINTI 2006

Colombini, D.; Occhipinti, E.: Preventing upper limb work-related musculoskeletal disorders (UL-WMSDs): New approaches in job (re)design and current trends in standardization. *Applied Ergonomics* 37 (2006) 4, S. 441-450.

CONSIGLIO ET AL. 2007

Consiglio, S.; Seliger, G.; Weinert, N.: Development of Hybrid Assembly Workplaces. *Annals of the CIRP* 56 (2007) 1, S. 37-40.

CORBETT ET AL. 1991

Corbett, J. M.; Rasmussen, L. B.; Rauner, F.: Crossing the border – The social and engineering design of computer integrated manufacturing systems. Berlin: Springer 1991.

COSTA & MIRALLES 2009

Costa, A. M.; Miralles, C.: Job rotation in assembly lines employing disabled workers. *International Journal of Production Economics* 120 (2009) 2, S. 625-632.

DELL'AMICO & MARTELLO 1997

Dell'Amico, M.; Martello, S.: Linear assignment. In: Dell'Amico, M. (Hrsg.): Annotated bibliographies in combinatorial optimization. Chichester: Wiley 1997, S. 355-371.

DELLER & KOLB 2010

Deller, J.; Kolb, P.: Herausforderung Demographie und Wandel der Arbeitsgesellschaft. In: Werkmann-Karcher, B.; Rietiker, J. (Hrsg.): Angewandte Psychologie für das Human Resource Management – Konzepte und Instrumente für ein wirkungsvolles Personalmanagement. Berlin: Springer 2010, S. 421-433.

DIMDI 2005

Deutsches Institut für medizinische Dokumentation und Information (DIMDI): Internationale Klassifikation der Funktionsfähigkeit, Behinderung und Gesundheit. Genf: DIMDI 2005.

DIN 8593-0 (1985)

DIN 8593-0: Fertigungsverfahren Fügen. Teil 0: Allgemeines, Einordnung, Unterteilung, Begriffe. Berlin: Beuth 1985.

DIN EN ISO 6385 (2004)

DIN EN ISO 6385: Grundsätze der Ergonomie für die Gestaltung von Arbeitssystemen. Berlin: Beuth 2004.

DOMBROWSKI ET AL. 2008

Dombrowski, U.; Zahn, T.; Schulze, S.: Alternde Belegschaften – Bereits heute für morgen planen. ZWF 103 (2008) 5, S. 290-294.

DOMSCHKE & DREXL 2005

Domschke, W.; Drexel, A.: Einführung in Operations Research. Berlin: Springer 2005.

DOMSCHKE 2007

Domschke, W.: Logistik: Transport – Grundlagen, lineare Transport- und Umladeprobleme. München: Oldenbourg 2007.

DUBIAN 2009

Dubian, C.: Modellierung und Realisierung eines IT-Systems zur Verwaltung und Analyse industrieller Arbeitsplätze unter Einbeziehung von ergonomischen und gesundheitlichen Aspekten. Göttingen: 2009. (Dissertation Georg-August-Universität Göttingen)

DUL ET AL. 2004

Dul, J.; Vries, H. d.; Verschoof, S.; Eveleens, W.; Feilzer, A.: Combining economic and social goals in the design of production systems by using ergonomics standards. Computers & Industrial Engineering 47 (2004) 2-3, S. 207-222.

EGBERS ET AL. 2010

Egbers, J.; Neuberger, M.; Spillner, R.; Walch, D.; Williger, B.: Definition einer altersgerechten Arbeitsgestaltung. In: Gerhäuser, H.; Günthner, W. A.; Lang, F. R.; Reinhart, G.; Schilling, K. (Hrsg.): Altersgerechte Arbeitsplatzgestaltung in Produktion und Logistik. München 2010, S. 10-14.

EISENMENGER ET AL. 2006

Eisenmenger, M.; Pöttsch, O.; Sommer, B.: 11. Koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung – Annahmen und Ergebnisse. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt 2006.

ENDER 2009

Ender, T.: Prognose von Personalbedarfen im Produktionsanlauf unter Berücksichtigung dynamischer Planungsgrößen. Karlsruhe: Shaker 2009. (Forschungsberichte aus dem wbk Institut für Produktionstechnik Universität Karlsruhe (TH) 150)

ERNST ET AL. 2004

Ernst, A. T.; Jiang, H.; Krishnamoorthy, M.; Sier, D.: Staff scheduling and rostering: A review of applications, methods and models. European Journal of Operational Research 153 (2004) 1, S. 3-27.

EVERSHEIM & PATOW 2001

Eversheim, W.; Patow, C.: Montagestruktur- und -arbeitsplatzgestaltung in der Einzel- und Kleinserienproduktion. In: Landau, K.; Luczak, H. (Hrsg.): Ergonomie und Organisation in der Montage. München: Carl Hanser 2001, S. 581-612.

EVERSHEIM 2002

Eversheim, W.: Organisation in der Produktionstechnik 3 – Arbeitsvorbereitung. Berlin: Springer 2002.

EVERSHEIM & SCHUH 1996

Eversheim, W.; Schuh, G.: Hütte – Produktion und Management. Berlin: Springer 1996.

FALCK ET AL. 2010

Falck, A.-C.; Örtengren, R.; Högberg, D.: The Impact of Poor Assembly Ergonomics on Product Quality: A Cost-Benefit Analysis in Car Manufacturing. Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries 20 (2010) 1, S. 24-41.

FLICK 2010

Flick, D. R.: Virtuelle Absicherung manueller Fahrzeugmontagevorgänge mittels digitalem 3D-Menschmodell – Optimierung der Mensch-Computer-Interaktion. München: 2010. (Dissertation Technische Universität München)

FOWLER ET AL. 2008

Fowler, J. W.; Wirojanagud, P.; Gel, E. S.: Heuristics for workforce planning with worker differences. European Journal of Operational Research 190 (2008) 3, S. 724-740.

FRANKE 2008

Franke, R.: Vorstellung Health and Safety der Daimler AG. Königswinter: 11.03.2008.

FREDRIKSSON ET AL. 2001

Fredriksson, K.; Bildt, C.; Hägg, G.; Kilbom, A.: The impact on musculoskeletal disorders of changing physical and psychosocial work environment conditions in the automobile industry. International Journal of Industrial Ergonomics 28 (2001) 1, S. 31-45.

FREIBOTH ET AL. 1997

Freiboth, M.; Frieling, E.; Henniges, D.; Saager, C.: Comparison of different assembly structures in the European automotive industry. International Journal of Industrial Ergonomics 20 (1997) 5, S. 357-370.

FRIEDRICH 1986

Friedrich, W.: Massnahmen zur altersadäquaten Anpassung der Arbeitsbedingungen – Arbeitsplatzgestaltung für leistungsgewandelte und behinderte ältere Arbeitnehmer. Oldenburg: 1986. (Dissertation Universität Oldenburg)

FRIELING ET AL. 2008

Frieling, E.; Buch, M.; Weichel, J.: Ältere Beschäftigte in gewerblich-industriellen Tätigkeiten – Ausgewählte Ergebnisse und Handlungsfelder am Beispiel der Montage. Wirtschaftspsychologie 10 (2008) 3, S. 120-128.

FRIELING ET AL. 2011

Frieling, E.; Enríquez-Díaz, J.-A.; Kreher, S.; Kotzab, D.: Systematische arbeitswissenschaftliche Bewertung ausgewählter Montagesysteme in der Automobilindustrie. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (Hrsg.): Mensch, Technik, Organisation – Vernetzung im Produktentstehungs- und -herstellungsprozess. Dortmund: GfA-Press 2011, S. 67-79.

FUNKE 2007

Funke, U.: Einbeziehung betrieblicher und außerbetrieblicher Ebenen in Konzepte der Prävention chronischer Erkrankungen. In: Badura, B.; Schellenschmidt, H.; Vetter, C. (Hrsg.): Fehlzeiten-Report 2006. Berlin: Springer 2007, S. 111-123.

FUSCH 2005

Fusch, T.: Betriebsbegleitende Prozessplanung in der Montage mit Hilfe der virtuellen Produktion am Beispiel der Automobilindustrie. München: Herbert Utz 2005. (Forschungsberichte *iwb* 188)

GAIROLA 1986

Gairola, A.: Montage automatisieren durch montagegerechtes Konstruieren. VDI-Z Integrierte Produktion 127 (1986) 11, S. 403-408.

GANS 2009

Gans, J. E.: Neu- und Anpassungsplanung der Struktur von getakteten Fließproduktionssystemen für variantenreiche Serienprodukte in der Montage. Paderborn: 2008. (HNI-Verlagsschriftenreihe 249)

GAUDART 2000

Gaudart, C.: Conditions for maintaining ageing operators at work – a case study conducted at an automobile manufacturing plant. Applied Ergonomics 31 (2000) 5, S. 453-462.

GÖBEL & ZWICK 2009

Göbel, C.; Zwick, T.: Age and Productivity – Evidence from Linked Employer Employee Data. Mannheim: ZEW Discussion Paper No. 09-020 (2009).

GOUTTEBARGE ET AL. 2004

Gouttebarge, V.; Wind, H.; Kuijer, P.; Frings-Dresen, M.: Reliability and validity of Functional Capacity Evaluation methods: a systematic review with reference to Blankenship system, Ergos work simulator, Ergo-Kit and Isernhagen work system. International Archives of Occupational and Environmental Health 77 (2004) 8, S. 527-537.

GRIFFITHS 1997

Griffiths, A.: Ageing, health and productivity: A challenge for the new millennium. Work & Stress 11 (1997) 3, S. 197-214.

GROB & HAFFNER 1982

Grob, R.; Haffner, H.: Planungsleitlinien Arbeitsstrukturierung – Systematik zur Gestaltung von Arbeitssystemen. Berlin: Siemens Aktiengesellschaft 1982.

GRUNWALD 2002

Grunwald, S.: Methode zur Anwendung der flexiblen integrierten Produktentwicklung und Montageplanung. München: Herbert Utz 2002. (Forschungsberichte *iwb* 159)

GUTENBERG 1983

Gutenberg, E.: Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre 1: Die Produktion. Berlin: Springer 1983.

HABERFELLNER ET AL. 1997

Haberfellner, R.; Daenzer, W. F.; Becker, M.: Systems Engineering. Zürich: Verlag Industrielle Organisation 1997.

HABR 1962

Habr, J.: The Use of Approximation Methods in Linear Programming. In: Popplewell, C.M. (Hrsg.): Information Processing 1962: Proceedings of the IFIP Congress 62 München. Amsterdam: North-Holland 1962, S. 180-184.

HACKER 1986

Hacker, W.: Arbeitspsychologie: Psychische Regulation von Arbeitstätigkeiten. Bern: Huber 1986.

HAMMER 1996

Hammer, S.: Entwurf eines Modells zur altersgerechten Montageplanung. In: Bullinger, H.-J.; Enderlein, H. (Hrsg.): Betriebliche Folgen veränderter Altersstrukturen in der Montage. Chemnitz: Wissenschaftliche Schriftenreihe des Institutes für Betriebswissenschaften und Fabrikssysteme 1996, S. 93-110.

HARTEL & LOTTER 2006

Hartel, M.; Lotter, B.: Planung und Bewertung von Montagesystemen. In: Lotter, B.; Wiendahl, H.-P. (Hrsg.): Montage in der industriellen Produktion. Berlin: Springer 2006, S. 407-432.

HEITZ 1994

Heitz, M.-J.: Ein engpassorientierter Ansatz zur simulationsunterstützten Planung von Personalstrukturen. Karlsruhe: 1994. (Forschungsberichte aus dem Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation der Universität Karlsruhe 7).

HELL ET AL. 1985

Hell, W.; Schulz, M.; Weertz, K.: Integration überwiegend körperlich Behinderter in einem Industriebetrieb – Leitfaden zur präventiven und korrekativen Arbeitsplatzgestaltung. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW 1985.

HENDRICK 2003

Hendrick, H.: Determining the cost-benefits of ergonomics projects and factors that lead to their success. *Applied Ergonomics* 34 (2003) 5, S. 419-427.

HOLWEG & PIL 2004

Holweg, M.; Pil, F. K.: *The Second Century – Reconnecting Customer and Value Chain through Build-to-Order*. Cambridge: MIT Press 2004.

HUCK 1990

Huck, M.: *Produktorientierte Montageablauf- und Layoutplanung für die Roboter Montage*. Düsseldorf: VDI-Verlag 1990. (Dissertation Universität Karlsruhe (TH))

IAB 2011

Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung der Bundesagentur für Arbeit (IAB): *Berufe im Spiegel der Statistik – Beschäftigten- und Arbeitslosenstatistik der Bundesagentur für Arbeit*.

<<http://bisds.infosys.iab.de/bisds/result?region=19&beruf=BG32&qualifikation=2>> – 31.03.2011.

ILMARINEN ET AL. 1997

Ilmarinen, J. E.; Tuomi, K.; Klockars, M.: Changes in the work ability of active employees over an 11-year period. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health* 23 (1997) 1, S. 49-57.

ILMARINEN 2001

Ilmarinen, J. E.: Aging Workers. *Occupational and Environmental Medicine* 58 (2001) 8, S. 546-551.

IMBA 2000

IMBA: *Das Instrument für Fachkräfte der beruflichen Rehabilitation und Integration – Einführung*. IMBA-Team: Köln 2000.

JENSEN 2001

Jensen, P. L.: Risk assessment: A regulatory strategy for stimulating working environment activities? *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries* 11 (2001) 2, S. 101-116.

JENSEN 2002

Jensen, P. L.: Human factors and ergonomics in the planning of production. *International Journal of Industrial Ergonomics* 29 (2002) 3, S. 121-131.

JONAS 2000

Jonas, C.: *Konzept einer durchgängigen, rechnergestützten Planung von Montageanlagen*. München: Herbert Utz 2000. (Forschungsberichte *iwb* 145).

JONSSON ET AL. 2004

Jonsson, D.; Medbo, L.; Engström, T.: Some considerations relating to the reintroduction of assembly lines in the Swedish automotive industry. *International Journal of Operations & Production Management* 24 (2004) 8, S. 754-772.

JÜRGENS ET AL. 2001

Jürgens, W.-W.; Mohr, D.; Pangert, R.; Pernack, E.-F.; Schultz, K.; Steinberg, U.: Handlungsanleitung zur Beurteilung der Arbeitsbedingungen beim Heben und Tragen von Lasten. Potsdam: Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (LASI) 2001.

KAISER ET AL. 2000

Kaiser, H.; Kersting, M.; Schian, H.-M.: Der Stellenwert des Arbeitssimulationsgerätes ERGOS als Bestandteil der leistungsdiagnostischen Begutachtung – Hinweise auf Bewertungsinstrumente zur Qualitätssicherung in der Rehabilitation Blatt 19. *Rehabilitation* 39 (2000), S. 175-184.

KALKSTEIN 1996

Kalkstein, J.: Methoden zur Integration leistungsgewandelter älterer Arbeitnehmer im Betrieb – Maßnahmen zur betrieblichen Umorganisation unter ganzheitlichen Gesichtspunkten. In: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Hrsg.): *Arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse Nr. 99: Arbeitsschutz für leistungsgewandelte ältere Arbeitnehmer*. Dortmund: 1996, S. 1-16.

KALTENBRUNNER 2006

Kaltenbrunner, S.: Alternsgerechte Arbeitsplätze in der Produktion. 27.11.2006.

KARHU ET AL. 1981

Karhu, O.; Härkönen, R.; Sorvali, P.; Vepsäläinen, P.: Observing working postures in industry: Examples of OWAS application. *Applied Ergonomics* 12 (1981) 1, S. 13-17.

KAWAKAMI ET AL. 1999

Kawakami, M.; Inoue, F.; Kumashiro, M.: Design of a Work System Considering the Needs of Aged Workers. *Experimental Aging Research* 25 (1999) 4, S. 477-483.

KAWAKAMI ET AL. 2000

Kawakami, M.; Inoue, F.; Okhubo, T.; Ueno, T.: Evaluating elements of the work area in terms of job redesign for older workers. *International Journal of Industrial Ergonomics* 25 (2000) 5, S. 525-533.

KEIL ET AL. 2010

Keil, M.; Hensel, R.; Spanner-Ulmer, B.: Fähigkeitsgerechte Prozessmodellbausteine zur Generierung altersdifferenzierter Beanspruchungsprofile. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* 64 (2010) 3, S. 205-215.

KEIL & SPANNER-ULMER 2012

Keil, M.; Spanner-Ulmer, B.: Conception and evaluation of an age-differentiated task analysis and screening method for the design of age based work-systems. In: ElMaraghy, H. (Hrsg.): Enabling Manufacturing Competitiveness and Economic Sustainability – Proceedings of the 4th International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production (CARV2011). Berlin: Springer 2012, S. 178-183.

KEMPE & REIF 1996

Kempe, G.; Reif, A.: Altersadäquate Montageorganisation und -planung. In: Bullinger, H.-J.; Enderlein, H. (Hrsg.): Betriebliche Folgen veränderter Altersstrukturen in der Montage. Chemnitz: Wissenschaftliche Schriftenreihe des Institutes für Betriebswissenschaften und Fabrikssysteme 1996, S. 23-44.

KISTLER ET AL. 2006

Kistler, E.; Ebert, A.; Guggemos, P.; Lehner, M.; Buck, H.; Schletz, A.: Altersgerechte Arbeitsbedingungen: Machbarkeitsstudie (Sachverständigen-gutachten) für die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin 2006.

KLEFFMANN ET AL. 1997

Kleffmann, A.; Weinmann, S.; Föhres, F.; Müller, B.: Melba – Psychologische Merkmalprofile zur Eingliederung Behinderter in Arbeit. Teilprojekt Psychologie. Siegen: Universität-Gesamthochschule Siegen 1997.

KLEINEIDAM 1990

Kleineidam, G.: CAD/CAP: Rechnergestützte Montagefeinplanung. München: Hanser 1990. (Fertigungstechnik - Erlangen 12)

KNÜLLE 2005

Knülle, E.: Wiedereingliederung als Bestandteil des betrieblichen Gesundheitsmanagements. Schweizerische Rundschau für Medizin 94 (2005) 50, S. 1995-1997.

KNÜLLE 2007

Knülle, E.: Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter in einem Großunternehmen. In: Badura, B.; Schellenschmidt, H.; Vetter, C. (Hrsg.): Fehlzeiten-Report 2006. Berlin: Springer 2007, S. 159-171.

KOCKA & STAUDINGER 2009

Kocka, J.; Staudinger, U. M. (Hrsg.): Gewonnene Jahre – Empfehlungen der Akademiengruppe Altern in Deutschland. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlags-Gesellschaft 2009. (Nova Acta Leopoldina Band 107)

KRATZSCH 2000

Kratzsch, S.: Prozess- und Arbeitsorganisation in Fließmontagesystemen. Essen: Vulkan 2000. (Schriftenreihe des IWF der TU Braunschweig)

KRÜGER 2007

Krüger, W.: Theoretische und empirische Beiträge zur Fabrikplanung unter dem Aspekt des demographischen Wandels. Chemnitz: 2007 (Dissertation TU Chemnitz)

KRÜGER 2008

Krüger, W.: Die Auswirkungen des demografischen Wandels auf die Fabrik. Ludwigsburg: 29.08.2008.

KUGLER ET AL. 2010

Kugler, M.; Bierwirth, M.; Schaub, K.; Sinn-Behrendt, A.; Feith, A.; Ghezzi-Ahmadi, K.; Bruder, R.: KoBRA – Kooperationsprogramm zu normativem Management von Belastungen und Risiken bei körperlicher Arbeit. Ergonomie in der Industrie - aber wie? Handlungshilfe für den schrittweisen Aufbau eines einfachen Ergonomiemanagements. Darmstadt: Institut für Arbeitswissenschaft der TU Darmstadt (IAD) 2010.

KUHNS 1955

Kuhn, H. W.: The Hungarian Method for the Assignment Problem. Naval Research Logistics Quarterly 2 (1955) 1-2, S. 83-97.

LANDAU 2002

Landau, K.: Ergonomie und Wirtschaftlichkeit – "rechnet" sich die Arbeitsgestaltung? Angewandte Arbeitswissenschaft (2002) 172, S. 49-67.

LANDAU 2007A

Landau, K.: Prognose von Gesundheit und Arbeitsfunktionen beim älter werdenden Industriearbeiter. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (Hrsg.): Die Kunst des Alterns. Dortmund: GfA-Press 2007, S. 23-26.

LANDAU 2007B

Landau, U.: Ergonomische Bewertungsverfahren am Beispiel des AAWS. 07.11.2007.

LANDAU ET AL. 2008

Landau, K.; Rademacher, H.; Meschke, H.; Winter, G.; Schaub, K.: Musculoskeletal disorders in assembly jobs in the automotive industry with special reference to age management aspects. International Journal of Industrial Ergonomics 38 (2008) 7-8, S. 571-576.

LANGHOFF 2009

Langhoff, T.: Den demographischen Wandel im Unternehmen erfolgreich gestalten – Eine Zwischenbilanz aus arbeitswissenschaftlicher Sicht. Berlin: Springer 2009.

LARING ET AL. 1996

Laring, M.; Falk, M.; Kadefors, R.; Örtengren, R.: Computer aided workplace design: An approach to create a tool for the production engineer. International Journal of Industrial Ergonomics 17 (1996) 4, S. 323-330.

LAURIG 1990

Laurig, W.: Grundzüge der Ergonomie. Berlin: Beuth 1990.

LI & SUNG 1999

Li, C. Y.; Sung, F. C.: A review of the healthy worker effect in occupational epidemiology. *Occupational Medicine* 49 (1999) 4, S. 225-229.

LOOZE ET AL. 2003

Looze, M. d.; Van Rhijn, G. J. W.; Van Deursen, J.; Tuinzaad, G. H.; Reijnefeld, C. N.: A participatory and integrative approach to improve productivity and ergonomics in assembly. *Production Planning & Control* 14 (2003) 2, S. 174-181.

LOOZE ET AL. 2010

Looze, M. d.; Vink, P.; Koningsveld, E. A. P.; Kuijt-Evers, L.; Van Rhijn, G. J. W.: Cost-Effectiveness of Ergonomic Interventions in Production. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries* 20 (2010) 4, S. 316-323.

LOTTER 1992

Lotter, B.: *Wirtschaftliche Montage – Ein Handbuch für den Elektrogerätebau und Feinwerktechnik*. Düsseldorf: VDI-Verlag 1992.

LOTTER 1998

Lotter, B.: Mitarbeiterqualifizierung. In: Lotter, B.; Hartel, M.; Menges, R. (Hrsg.): *Manuelle Montage – wirtschaftlich gestalten: Neuzzeitliche Analysen und Planungsmethoden zur Montagerationalisierung*. Renningen-Malmsheim: expert-Verlag 1998, S. 193-201.

LOTTER ET AL. 1998

Lotter, B.; Hartel, M.; Menges, R. (Hrsg.): *Manuelle Montage - wirtschaftlich gestalten: Neuzzeitliche Analysen und Planungsmethoden zur Montagerationalisierung*. Renningen-Malmsheim: expert-Verlag 1998.

LUCZAK & STEMANN 2008

Luczak, H.; Stemann, M. C.: Ergonomic Design and Intervention Strategies in Health Promotion for Ageing Workforces. In: Conrad, H.; Heindorf, V.; Waldenberger, F. (Hrsg.): *Human resource management in ageing societies*. Palgrave: Macmillan 2008, S. 144-156.

MANN 2007

Mann, H. B.: *Prävention und Integration älterer Mitarbeiter bei der Audi AG*. 01.11.2007.

MARQUARD ET AL. 1985

Marquardt, E.; Rietschel, E.; Weber, W.; Winkler, K. O.; Wöhr, H. G.: *Integration überwiegend körperlich Behinderter in einem Industriebetrieb – Behinderungen, Krankheiten und ihre Auswirkungen auf die Arbeitssituation: Manual, insbesondere für Betriebsärzte*. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW 1985.

MÄRZ ET AL. 2011

März, L.; Winterer, T.; Mayrhofer, W.; Sihn, W.: Integrierte Programm- und Personaleinsatzplanung sequenzierter Produktionslinien. In: März, L.; Krug, W.; Rose, O.; Weigert, G. (Hrsg.): Simulation und Optimierung in Produktion und Logistik. Berlin: Springer 2011, S. 133-150.

MATTHÄI & MORSCHHÄUSER 2009

Matthäi, I.; Morschhäuser, M.: Länger arbeiten in gesunden Organisationen – Praxishilfe zur alternsgerechten Arbeitsgestaltung in Industrie, Handel und Öffentlichem Dienst. Saarbrücken: Institut für Sozialforschung und Sozialwirtschaft e.V. 2009.

MAUERMANN 2010

Mauermann, H.: Projekt "Heute für morgen - Arbeitssystem 2017". Berlin: 06.05.2010.

MEHRHOFF 2007

Mehrhoff, F.: Betriebliches Eingliederungsmanagement – Herausforderung für Unternehmen. In: Badura, B.; Schellenschmidt, H.; Vetter, C. (Hrsg.): Fehlzeiten-Report 2006. Berlin: Springer 2007, S. 127-138.

MENGES 1998

Menges, R.: Rechnerunterstützte Planung manueller Montage. In: Lotter, B.; Hartel, M.; Menges, R. (Hrsg.): Manuelle Montage – wirtschaftlich gestalten: Neuzeitliche Analysen und Planungsmethoden zur Montagerationalisierung. Renningen-Malmsheim: expert-Verlag 1998, S. 169192.

MIRALLES ET AL. 2008

Miralles, C.; García-Sabater, J.; Andrés, C.; Cardós, M.: Branch and bound procedures for solving the Assembly Line Worker Assignment and Balancing Problem: Application to Sheltered Work centres for Disabled. *Discrete Applied Mathematics* 156 (2008) 3, S. 352-367.

MORSCHHÄUSER ET AL. 2005

Morschhäuser, M.; Ochs, P.; Huber, A.: Erfolgreich mit älteren Arbeitnehmern. Gütersloh: Bertelsmann-Stiftung 2005.

MOTUS 2009

Motus, D.: Referenzmodell für die Montageplanung in der Automobilindustrie. München: Herbert Utz 2009. (Informatik 87)

MÜHLSTEDT ET AL. 2008

Mühlstedt, J.; Kaußler, H.; Spanner-Ulmer, B.: Programme in Menschengestalt: Digitale Menschmodelle für CAx- und PLM-Systeme. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* 62 (2008) 2, S. 79-86.

MÜLLER & LORENZ 2001

Müller, B. H.; Lorenz, P.: Modell zur menschenorientierten Gestaltung und Planung von Montagesystemen. In: Landau, K.; Luczak, H. (Hrsg.): Ergonomie und Organisation in der Montage. München: Carl Hanser 2001, S. 307-323.

MÜLLER ET AL. 2007

Müller, T.; Wagner, T.; Hanfler, M.: Betriebliche Handlungsansätze zur Gestaltung des demographischen Wandels in zehn Industrieunternehmen. Frankfurt am Main: IG Metall Vorstand 2007.

MÜLLER & KRÜGER 2010

Müller, E.; Krüger, W.: Fabrikplanung unter dem Aspekt des demographischen Wandels. *Angewandte Arbeitswissenschaft* (2010) 203, S. 47-70.

MUNKRES 1957

Munkres, J.: Algorithms for the Assignment and Transportation Problems. *Journal of the Society of Industrial and Applied Mathematics* 5 (1957) 1, S. 32-38.

N. N. 2008

N. N.: Vorbereitung mangelhaft. Informationsdienst des Instituts der deutschen Wirtschaft Köln 34 (2008) 41, S. 4-5.

NEUMANN 1996

Neumann, K.: *Produktions- und Operations-Management*. Berlin: Springer 1996.

NEUMANN & MORLOCK 2004

Neumann, K.; Morlock, M.: *Operations Research*. München: Hanser 2004.

NEUMANN ET AL. 2001

Neumann, W. P.; Kihlberg, S.; Medbo, P.; Mathiassen, S. E.; Winkel, J.: A case Study evaluating the ergonomic and productivity impacts of partial automation strategies in the electronics industry. *International Journal of Production Research* 40 (2001) 16, S. 4059-4075.

NEUMANN 2004

Neumann, W. P.: *Production Ergonomics: Identifying and Managing Risk in the Design of High Performance Work Systems*. Lund: 2004 (Dissertation Lund University)

NEUMANN ET AL. 2006

Neumann, W. P.; Winkel, J.; Medbo, L.; Magneberg, R.; Mathiassen, S. E.: Production system design elements influencing productivity and ergonomics. *International Journal of Operation & Production Management* 26 (2006) 8, S. 904-923.

NEUMANN 2007

Neumann, W. P. (Hrsg.): *Inventory of Human Factors Tools and Methods – A Work-System Design Perspective*. Toronto: Ryerson University 2007.

NEUMANN ET AL. 2009

Neumann, W. P.; Ekman, M.; Winkel, J.: Integrating ergonomics into production system development – The Volvo Powertrain case. *Applied Ergonomics* 40 (2009) 3, S. 527-537.

NEUMANN & DUL 2010

Neumann, W. P.; Dul, J.: Human factors: spanning the gap between OM and HRM. *International Journal of Operations & Production Management* 30 (2010) 9, S. 923-950.

NÖRING ET AL. 2007

Nöring, R.; Becker, H.-H.; Deiwiks, J.; Dubian, C.; Sigi, T.; Stork, J.; Stumpf, J.: Bis 67 mit Wohlbefinden arbeiten? In: Schäfer, E. (Hrsg.): *Arbeitsleben!* Kassel: Kassel University Press 2007, S. 108-132.

NORO & IMADA 1992

Noro, K.; Imada, A.: *Participatory Ergonomics*. London: Taylor & Francis 1992.

NOWAK 2007

Nowak, D.: *Arbeitsmedizin zum Lernzielkatalog nach der neuen Approbationsordnung (2003)*. München: Urban & Fischer 2007.

OTTO & SCHOLL 2011

Otto, A.; Scholl, A.: Incorporating ergonomic risks into assembly line balancing. *European Journal of Operational Research* 212 (2011) 2, S. 277-286.

PACK ET AL. 2000

Pack, J.; Buck, H.; Kistler, E.; Mendius, H. G.; Morschhäuser, M.; Wolff, H.: *Zukunftsreport demographischer Wandel – Innovationsfähigkeit in einer alternden Gesellschaft*. Bonn: Veröffentlichung aus dem Förderschwerpunkt „Demographischer Wandel“ 2000.

PARK 1992

Park, H.-S.: *Rechnerbasierte Montageplanung in der Mittelserienfertigung*. Düsseldorf: VDI-Verlag 1992. (Berichte aus dem Institut für Fertigungstechnik und Spanende Werkzeugmaschinen, Universität Hannover 256).

PATRON 2005

Patron, C.: *Konzept für den Einsatz von Augmented Reality in der Montageplanung*. München: Herbert Utz 2005. (Forschungsberichte *iwb* 190)

PENTICO 2007

Pentico, D. W.: Assignment problems: A golden anniversary survey. *European Journal of Operational Research* 176 (2007) 2, S. 774-793.

PETERS & ZELEWSKI 2005

Peters, M. S.; Zelewski, S.: Competence and Preference-based Workplace Assignment. In: Zülch, G.; Jagdev, H.S.; Stock, P. (Hrsg.): *Integrating Human Aspects in Production Management*. Boston: International Federation for Information Processing 2005, S. 31-43.

PETERS 2007

Peters, H.: *Konzeptive Ergonomie*. In: Landau, K. (Hrsg.): *Lexikon Arbeitsgestaltung*. Wiesbaden: Universum 2007, S. 735-737.

PFEIFFER 1989

Pfeiffer, G.: Grenzen der Wirtschaftlichkeit bei der automatisierten Montage. In: Gesellschaft Feinwerktechnik (Hrsg.): Automatisierung der Montage in der Feinwerktechnik und Elektrotechnik. Düsseldorf: VDI-Verlag 1989, S. 173-189.

PFOSER 2008

Pfoser, R.: Ergonomische Arbeitsplatzgestaltung bei steigendem Lebensalter. Steyr: 05.06.2008.

PIEPER 2010A

Pieper, M.: Das Projekt „Heute für morgen“ bei der BMW Group. In: Knauth, P.; Elmerich, K.; Karl, D. (Hrsg.): Risikofaktor demografischer Wandel – Generationenvielfalt als Unternehmensstrategie. Düsseldorf: symposium 2009, S. 217-246.

PIEPER 2010B

Pieper, M.: Das Programm "Heute für morgen" bei der BMW Group. Den demographischen Realitäten aktiv begegnen. Berlin: 26.10.2010.

PRASCH 2010

Prasch, M. G.: Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter in die variantenreiche Serienmontage. München: Herbert Utz 2010. (Forschungsberichte *iwb* 243)

PUNNETT & WEGMAN 2004

Punnett, L.; Wegman, D. H.: Work-related musculoskeletal disorders: the epidemiologic evidence and the debate. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 14 (2004) 1, S. 13-23.

RADEMACHER ET AL. 2009

Rademacher, H.; Sinn-Behrendt, A.; Landau, K.; Bruder, R.: Development of a tool for an integrative age-differentiated workload analysis. In: IEA (Hrsg.): Proceedings of the 17th World Congress on Ergonomics. Beijing, 09.-14.08.2009.

RADEMACHER ET AL. 2010

Rademacher, H.; Sinn-Behrendt, A.; Bruder, R.; Landau, K.: Tätigkeitsbezogene Analyse körperlicher Fähigkeiten von jüngeren und älteren Beschäftigten in der Produktion. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* 64 (2010) 3, S. 187-203.

REFA 1978

REFA Verband für Arbeitsstudien e.V. (Hrsg.): Methodenlehre des Arbeitsstudiums: Datenermittlung. München: Hanser 1978.

REFA 1990

REFA Verband für Arbeitsstudien e.V. (Hrsg.): Planung und Gestaltung komplexer Produktionssysteme. München: Hanser 1990.

REFA 1993A

REFA Verband für Arbeitsstudien e.V. (Hrsg.): Arbeitsgestaltung in der Produktion. München: Hanser 1993.

REFA 1993B

REFA Verband für Arbeitsstudien e.V. (Hrsg.): Ausgewählte Methoden der Planung und Steuerung. München: Hanser 1993.

REINHART ET AL. 2008

Reinhart, G.; Thiemann, C.; Spillner, R.; Schilp, J.: Demographische Herausforderungen in der Montage. wt Werkstattstechnik online 98 (2008) 9, S. 681-686.

REINHART ET AL. 2009A

Reinhart, G.; Spillner, R.; Egbers, J.: Werkzeug zur individuellen Belastungsdosimetrie. In: Landau, K. et al. (Hrsg.): Produktivität im Betrieb. Stuttgart: ergonomia 2009, S. 145-150.

REINHART ET AL. 2009B

Reinhart, G.; Zäh, M. F.; Wiesbeck, M.; Egbers, J.: Digitale Assistenzsysteme zur alterungsgerechten Integration von Werkern in die variantenreiche Montage. ATZproduktion 2 (2009) 03-04, S. 18-21.

REINHART ET AL. 2010A

Reinhart, G.; Egbers, J.; Schilp, J.; Rimpau, C.: Demographiegerechte und doch wirtschaftliche Montageplanung. wt Werkstattstechnik online 100 (2010) 1, S. 9-14.

REINHART ET AL. 2010B

Reinhart, G.; Spillner, R.; Egbers, J.; Schilp, J.: Individualisierung an Montagearbeitsplätzen. wt Werkstattstechnik online 100 (2010) 9, S. 665-669.

REINHART & SPILLNER 2010

Reinhart, G.; Spillner, R.: Assistenzroboter in der Produktion. Winterthur: 03./04. November 2010.

REINHART & EGBERS 2012

Reinhart, G.; Egbers, J.: Integrating Ability Limitations into Assembly System Design. In: ElMaraghy, H. (Hrsg.): Enabling Manufacturing Competitiveness and Economic Sustainability – Proceedings of the 4th International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production (CARV2011). Berlin: Springer 2012, S. 35-40.

RENTSCH & BUCHER 2006

Rentsch, H. P.; Bucher, P. O.: ICF in der Rehabilitation – Die praktische Anwendung der internationalen Klassifikation der Funktionsfähigkeit, Behinderung und Gesundheit im Rehabilitationsalltag. Idstein: Schulz-Kirchner 2006.

RHODES 1983

Rhodes, S.: Age-related differences in work attitudes and behavior: A review and conceptual analysis. *Psychological Bulletin* 93 (1983) 2, S. 328-367.

RICHTER 2010

Richter, G.: Toolbox Version 1.2 – Instrumente zur Erfassung psychischer Belastungen. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin 2010.

RIX 1990

Rix, S.: Older workers. Santa Barbara: ABC-CLIO 1990.

ROBERT & BRANGIER 2009

Robert, J.-M.; Brangier, E.: What Is Prospective Ergonomics? A Reflection and a Position on the Future of Ergonomics. In: Karsh, B.-T. (Hrsg.): Ergonomics and health aspects of work with computers. Berlin: Springer 2009, S. 162-169.

ROCKLAND 1995

Rockland, M.: Flexibilisierung der automatischen Teilebereitstellung in Montageanlagen. Berlin: Springer 1995. (Forschungsberichte *iwb* 87)

ROHMERT 1983

Rohmert, W.: Formen menschlicher Arbeit. In: Rohmert, W.; Rutenfranz, J. (Hrsg.): Praktische Arbeitsphysiologie. Stuttgart: Thieme 1983, S. 5-29.

ROHMERT 1984

Rohmert, W.: Das Belastungs-Beanspruchungskonzept. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* 38 (1984) 4, S. 193-200.

ROSCHER 2008

Roscher, J.: Bewertung von Flexibilitätsstrategien für die Endmontage in der Automobilindustrie. Stuttgart: 2008. (Dissertation Universität Stuttgart)

ROTTINGER 2005

Rottinger, S.: Mehrphasige Personalentwicklungsplanung für Fertigungssysteme auf Basis des Technologiekalender-Konzeptes. Karlsruhe: Universitätsverlag Karlsruhe 2005. (Forschungsberichte aus dem Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation der Universität Karlsruhe (TH) 35)

RUDOLF 2007

Rudolf, H.: Wissensbasierte Montageplanung in der digitalen Fabrik am Beispiel der Automobilindustrie. München: Herbert Utz 2007. (Forschungsberichte *iwb* 204)

RUDOW 2004

Rudow, B.: Das gesunde Unternehmen – Gesundheitsmanagement, Arbeitsschutz und Personalpflege in Organisationen. München: Oldenbourg 2004.

SALTHOUSE 2000

Salthouse, T. A.: Aging and measures of processing speed. *Biological Psychology* 54 (2000) 1-3, S. 35-54.

SCHAUB 2004

Schaub, K.: Das "Automotive Assembly Worksheet" (AAWS). In: Landau, K. (Hrsg.): *Montageprozesse gestalten – Fallbeispiele aus Ergonomie und Organisation*. Stuttgart: ergonomia 2004, S. 91-111.

SCHAUB ET AL. 2006

Schaub, K.; Sinn-Behrendt, A.; Mnich, H.-P.; Gaber, W.: Instrumente zum fähigkeitsgerechten Mitarbeiterinsatz: Methoden und Ansätze aus der Praxis. In: *Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (Hrsg.): Innovationen für Arbeit und Organisation*. Dortmund: GfA-Press 2006, S. 747-750.

SCHAUB & BRUDER 2008

Schaub, K.; Bruder, R.: Development and application of methods for stress analysis in manufacturing. In: *Karwowski, W.; Salvendy, G. (Hrsg.): Proceedings of the 2nd International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE)*. Las Vegas, 14.-17.07.2008.

SCHIAN & KAISER 2000

Schian, H.-M.; Kaiser, H.: Profilvergleichssysteme und leistungsdiagnostische, EDV-gestützte Technologie – Ihr Einsatz zur Verbesserung der Beantwortung sozialmedizinischer Fragestellungen und Begutachtungen sowie der Planung von Rehabilitationsmaßnahmen. *Die Rehabilitation* (2000) 39, S. 56-64.

SCHIEKIRKA ET AL. 2010

Schiekirka, S.; Enríquez-Díaz, J.-A.; Frieling, E.: Veränderungen der Einstellungen zur Arbeitstätigkeit in Abhängigkeit vom Alter – erste Ergebnisse einer Längsschnittuntersuchung durchgeführt in zwei Automobilunternehmen. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* 64 (2010) 3, S. 173-185.

SCHLICK ET AL. 2010

Schlick, C. M.; Bruder, R.; Luczak, H. (Hrsg.): *Arbeitswissenschaft*. Berlin: Springer 2010.

SCHMAL ET AL. 2001

Schmal, A.; Niehaus, M.; Heinrich, T.: Betrieblicher Umgang mit der Gruppe leistungsgewandelter und behinderter Mitarbeiter/innen: Befragungsergebnisse aus der Sicht unterschiedlicher Funktionsträger. *Die Rehabilitation* (2001) 40, S. 241-246.

SCHMIDT 2005

Schmidt, I.: *Gestaltungsmodelle der nachhaltigen Integration älterer Arbeitspersonen in die Erwerbstätigkeit*. Aachen: 2005. (Dissertation RWTH Aachen)

SCHMIDTKE & BUBB 1993

Schmidtke, H.; Bubb, H.: Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept. In: Schmidtke, H.; Bernotat, R. (Hrsg.): Ergonomie. München: Hanser 1993, S. 116-120.

SCHMITZ-SCHERZER ET AL. 1994

Schmitz-Scherzer, R.; Backes, G.; Friedrich, I.; Karl, F.; Kruse, A.: Ressourcen älterer und alter Menschen. Stuttgart: Bundesministerium für Familie und Senioren 1994.

SCHNEPF 1995

Schnepf, P.: Zielkostenorientierte Montageplanung. München: Hanser 1995. (Fertigungstechnik - Erlangen 47)

SCHRADER ET AL. 1995

Schrader, K.; Meyer-Falcke, A.; Munker, H.: Einsatz leistungsgewandelter Arbeitnehmer. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW 1995.

SCHUH ET AL. 2008

Schuh, G.; Gottschalk, S.; Gulden, A.; Hilchner, R.; Pyschny, N.; Buchner, T.; Haubrich, T.: Strategien und Trends in der Montagetechnik und -organisation. wt Werkstattstechnik online 98 (2008) 9, S. 670-674.

SCHULTETUS 2004

Schultetus, W.: Praxisrelevanz arbeitswissenschaftlicher Erkenntnisse – Anforderungen an die Unternehmen und wirtschaftlicher Nutzen. Chemnitz: 2004. (Dissertation Technische Universität Chemnitz)

SCHULZ & HECKERT 1985

Schulz, M.; Heckert: Integration überwiegend körperlich Behinderter in einem Industriebetrieb – Ein Organisationsmodell. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW 1985.

SINK ET AL. 2001

Sink, D. S.; Poirier, D. F.; Smith, G. L.: Full Potential Utilization of Industrial and Systems Engineering in Organizations. In: Salvendy, G. (Hrsg.): Handbook of Industrial Engineering. New York: Wiley 2001, S. 3-25.

SINN-BEHRENDT ET AL. 2004

Sinn-Behrendt, A.; Schaub, K.; Winter, G.; Landau, K.: Ergonomisches Frühwarnsystem "Ergo-FWS". In: Landau, K. (Hrsg.): Montageprozesse gestalten – Fallbeispiele aus Ergonomie und Organisation. Stuttgart: ergonomia 2004, S. 233-248.

SINN-BEHRENDT ET AL. 2011

Sinn-Behrendt, A.; Rademacher, H.; Bruder, R.; Landau, K.: Identifikation demographischer Engpässe für muskuloskelettale Risiken in der Produktion – Auswirkungen auf die Gestaltung industrieller Arbeitsplätze und den Einsatz von Werkern. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (Hrsg.): Mensch, Technik, Organisation – Vernetzung im Produktentstehungs- und -herstellungsprozess. Dortmund: GfA-Press 2011, S. 57-60.

SPANNER-ULMER ET AL. 2009

Spanner-Ulmer, B.; Frieling, E.; Landau, K.; Bruder, R.: Produktivität und Alter. In: Landau, K. et al. (Hrsg.): Produktivität im Betrieb. Stuttgart: ergonomia 2009, S. 81-117.

SPORKET 2009

Sporket, M.: Organisationen im demographischen Wandel – Alternsmanagement in der betrieblichen Praxis. Dortmund: 2009. (Dissertation Technische Universität Dortmund)

SPUR & STÖFERLE 1986

Spur, G.; Stöferle, T. (Hrsg.): Fügen, Handhaben und Montieren. München: Hanser 1986. (Handbuch der Fertigungstechnik, Bd. 5)

SPUR & KRAUSE 1997

Spur, G.; Krause, F.-L.: Das virtuelle Produkt – Management der CAD-Technik. München: Hanser 1997.

STANIĆ 2010

Stanić, S.: Fahrzeugendmontage – Herausforderung für den demografischen Wandel. Kassel: Kassel University Press 2010. (Personal- und Organisationsentwicklung 8)

STATISTISCHES BUNDESAMT 1995

Statistisches Bundesamt: Klassifizierung der Berufe, Ausgabe 1992. In: Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Fachserie 1, Reihe 4.1.2, Beruf, Ausbildung und Arbeitsbedingungen der Erwerbstätigen 1995 (Ergebnisse des Mikrozensus). Stuttgart: Metzler-Poeschel 1995, S. 317-323.

STATISTISCHES BUNDESAMT 2009

Statistisches Bundesamt: 12. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung. <<http://www.destatis.de/bevoelkerungspyramide/>> – 09.03.2011.

STROHMEIER 2008

Strohmeier, S.: Informationssysteme im Personalmanagement – Architektur, Funktionalität, Anwendung. Wiesbaden: Vieweg+Teubner 2008.

SULLIVAN & MCLEAN 1997

Sullivan, A.; McLean, M.: Implementation of a systematic ergonomics in design program: Lessons learned and conditions for success. In: Seppala, P.; Luopajarvi, T.; Nygard, C.H.; Mattila, M. (Hrsg.): From Experience to Innovation. Proceedings of the 13th Triennial Congress of the International Ergonomics Association, 1997, S. 252-254.

SZYMANSKI ET AL. 2009

Szymanski, H.; Lange, A.; Berens, T.: Die Bilanzierung von Instrumenten zur Gestaltung des demografischen Wandels. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin 2009.

SZYMANSKI ET AL. 2011

Szymanski, H.; Lange, A.; Feldes, W.; Magin, J.: Projekt "Werkzeugkasten Eingliederungsmanagement": Gestaltung, Umsetzung und Transfer von Praxisinstrumenten zum Eingliederungs-Management. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (Hrsg.): Mensch, Technik, Organisation – Vernetzung im Produktentstehungs- und -herstellungsprozess. Dortmund: GfA-Press 2011, S. 107-111.

TÄUBERT & REIF 1997

Täubert, J.; Reif, A.: Leitfaden zur altersgerechten physiologischen Arbeitsgestaltung in der Montage. Chemnitz: 1997. (Wissenschaftliche Schriftenreihe des Institutes für Betriebswissenschaften und Fabriksysteme)

ULICH 2005

Ulich, E.: Arbeitspsychologie. Zürich: Schäffer-Pöschel 2005.

UNPD 2009

United Nations Populations Division (UNPD): World Population Prospects – The 2008 Revision Population Database. New York: 2009.

VEEN & BACKES-GELLNER 2009

Veen, S.; Backes-Gellner, U.: Betriebliche Altersstrukturen und Produktivitätseffekte. In: Backes-Gellner, U.; Veen, S.; Kocka, J.; Staudinger, U. M. (Hrsg.): Altern, Arbeit und Betrieb. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft. 2009, S. 29-64.

VDI 2815 (1978)

VDI Richtlinie 19226, Blatt 1: Begriffe für die Produktionsplanung und -steuerung – Einführung, Grundlagen. Düsseldorf: VDI-Verlag 1978.

VDI 2860 (1990)

VDI Richtlinie 2860, Blatt 1: Handhabungsfunktionen, Handhabungseinrichtungen: Begriffe, Definitionen, Symbole. Düsseldorf: VDI-Verlag 1990.

VESTER 2011

Vester, F.: Die Kunst vernetzt zu denken. München: DTV 2011.

VETTER 2003

Vetter, C.: Einfluss der Altersstruktur auf die krankheitsbedingten Fehlzeiten. In: Badura, B.; Schellenschmidt, H.; Vetter, C. (Hrsg.): Fehlzeiten-Report 2002. Berlin: Springer 2003, S. 249-264.

WALCH 2011

Walch, D. M.: Belastungsermittlung in der Kommissionierung vor dem Hintergrund einer altersgerechten Arbeitsgestaltung der Intralogistik. München: 2011. (Dissertation TU München)

WARR 1994

Warr, P.: Age and job performance. In: Snel, J. (Hrsg.): Work and aging. London: Taylor & Francis 1994, S. 309-322.

WATERS ET AL. 1993

Waters, T. R.; Putz-Anderson, V.; Garg, A.; Fine, L. J.: Revised NIOSH equation for the design and evaluation of manual lifting tasks. *Ergonomics* 36 (1993) 7, S. 749-776.

WATERS ET AL. 1994

Waters, T. R.; Putz-Anderson, V.; Garg, A.: Application Manual for the Revised NIOSH Lifting Equation. Cincinnati: US Department of Health and Human Services, Public Health Service 1994.

WEN ET AL. 1983

Wen, C. P.; Tsai, S. P.; Gibson, R. L.: Anatomy of the Healthy Worker Effect: A Critical Review. *Journal of Occupational and Environmental Medicine* 25 (1983) 4, S. 283-289.

WESTGAARD & WINKEL 2011

Westgaard, R. H.; Winkel, J.: Occupational musculoskeletal and mental health: Significance of rationalization and opportunities to create sustainable production systems - A systematic review. *Applied Ergonomics* 42 (2011), S. 261-296.

WEYAND 2010

Weyand, L.: Risikoreduzierte Endmontageplanung am Beispiel der Automobilindustrie. Saarbrücken: 2010. (Schriftenreihe Produktionstechnik 46)

WILDEMANN 1991

Wildemann, H.: Flexible Arbeits- und Betriebszeiten – wettbewerbs- und mitarbeiterorientiert! München: Bayerisches Staatsministerium für Arbeit, Familie und Sozialordnung 1991.

WILDEMANN 2010

Wildemann, H.: Neue Montagekonzepte. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZWF)* 105 (2010) 4, S. 316-322.

WILLNECKER 2001

Willnecker, U.: Gestaltung und Planung leistungsorientierter manueller Fließmontagen. München: Herbert Utz 2001. (Forschungsberichte *iwb* 146)

WILSON & CORLETT 1990

Wilson, J.; Corlett, E.: *Evaluation of Human Work*. London: Taylor & Francis 1990.

WINGERTER 2010

Wingerter, C.: Später in den Ruhestand? Statistisches Bundesamt: 21.09.2010.

<https://www.destatis.de/DE/Publikationen/STATmagazin/Arbeitsmarkt/2010_09/2010_09Rente.html> – 16.04.2012.

WINKEL & NEUMANN 2005

Winkel, J.; Neumann, W. P.: Ergonomics and effective production systems – moving from reactive to proactive development. Göteborg: National Institute for Working Live 2005.

WOMACK & JONES 1996

Womack, J. P.; Jones, D. T.: Lean thinking. New York: Simon & Schuster 1996.

WULFF ET AL. 1999

Wulff, I. A.; Westgaard, R. H.; Rasmussen, B.: Ergonomic criteria in large-scale engineering – Evaluating and applying requirements in the real world of design. Applied Ergonomics 30 (1999) 3, S. 207-221.

ZÄH & PRASCH 2006

Zäh, M. F.; Prasch, M. G.: Efficient and Ergonomic Workplace Design and Assembly Reorganization for Aging Workforces. In: Butala, P.; Hlebanja, G. (Hrsg.): Proceedings of the 39th CIRP ISMS International Seminar on Manufacturing Systems. Ljubljana: University of Ljubljana 2006.

ZÄH & PRASCH 2007

Zäh, M. F.; Prasch, M. G.: Systematic workplace and assembly redesign for aging workforces. Production Engineering 1 (2007) 1, S. 57-64.

ZÜLCH 1979

Zülch, G.: Entwicklung eines lexikographischen Zuordnungsmodells zur qualitativen Personaleinsatzplanung auf der Basis gemischt skalierten Anforderungs- und Fähigkeitsmerkmale. Aachen: 1979. (Dissertation RWTH Aachen)

ZÜLCH ET AL. 2004

Zülch, G.; Rottinger, S.; Vollstedt, T.: A simulation approach for planning and re-assigning of personnel in manufacturing. International Journal of Production Economics (2004) 90, S. 265-277.

ZÜLCH 2005

Zülch, G.: Integrating Human Aspects into the Digital Factory. In: Zülch, G.; Jagdev, H. S.; Stock, P. (Hrsg.): Integrating Human Aspects in Production Management. Boston: International Federation for Information Processing 2005, S. 85-99.

ZWART ET AL. 1996

Zwart, B. C. d.; Frings-Dresen, M.; Dijk, F. J. v.: Physical workload and the ageing worker: a review of the literature. International Archives of Occupational and Environmental Health 68 (1996) 1, S. 1-12.

Anhang

Tabelle 22: ABA-Belastungsanalysekriterien (nach ARBEITSKREIS ERGONOMIE 2002; BUBB 2007; PRASCH 2010, S.47)

	Profilvergleichskriterium	Attribute zur Berechnung der Arbeitsbelastung	Einheit	
1.	Überwiegende Arbeitshöhe im Stehen	Vorhandensein anderer Körperhaltungen	[-]	
		Arbeitshöhe	[cm]	
2.	Belastung des Nackens	Belastungsdauer	[s]	
		Auslenkwinkel des Nackens	[°]	
		Vorhandensein statischer Belastungen	[N]	
3.	Arbeiten über Schulterhöhe	Kraftausübung	[N]	
		Überkopfarbeit	[-]	
		Belastungsdauer	[s]	
4.	Beweglichkeit des Rumpfes	Drehwinkel, Beugewinkel	[°]	
		Belastungsdauer	[s]	
		Kraftausübung	[N]	
5.	Beweglichkeit der Arme	Greifraumgröße > 60cm	[cm]	
		Greifdauer	[s]	
6.	Muskelbelastung der Arme und des Schultergürtels	Stehen	[-]	
		Betätigungsdauer	[s]	
		Kraftausübung	[N]	
7.	Belastung der Unterarme und Handgelenke	Handschließkraft	[N]	
		Belastungsdauer	[s]	
		Handstellung, Handdrehung	[°]	
8.	Belastung der Finger	Fingerdruckkraft, Fingerzugkraft, Fingerkraft	[N]	
		Fingerfertigkeit	[°]	
9.	Beweglichkeit der Kniegelenke	Kraftausübung	[N]	
		Kniewinkel	[°]	
10.	Anteile Stehen-Gehen-Sitzen	Anteil Stehen, Anteil Gehen, Anteil Sitzen	[s]	
		Erschwerte Ausübungsbedingungen	[-]	
11.	Handhaben von Lasten	Hebe- vorgänge	Lastgewicht	[N]
			Hübe pro Schicht	[#]
			Körperhaltung beim Heben	[-]
		Halte- vorgänge	Lastgewicht	[N]
			Gesamtdauer der Haltevorgänge	[min]
			Körperhaltung beim Halten	[-]
		Trage- vorgänge	Lastgewicht	[N]
			Gesamtweg der Tragevorgänge	[m]
			Körperhaltung beim Tragen	[-]
		NIOSH	Hebe-, Aufnahmehöhe, Knöchel-Handfläche	[cm]
			Drehung zur Lastbewegung	[°]
			Oberflächenbeschaffenheit	[-]
Häufigkeit der Lastenhandhabung	[#]			
		Schichtdauer	[h]	
12.	Lärm	Schalldruckpegel am Arbeitsplatz	[db(A)]	
13.	Klima	Klima außerhalb des Erträglichkeitsbereichs	[w]	
14.	Beleuchtung	Leuchtstärke	[lux]	
15.	Gefahrstoffe	Einhaltung der Gefahrstoffgrenzwerte	[-]	
16.	Nässe	Belastung durch Nässe	[s]	
17.	Taktabhängigkeit	Art der Taktbindung	[-]	
18.	Informationsaufnahme	Informationsmenge, Informationsstruktur	[-]	
19.	Unfallgefahren	Vorhandensein von Gefährdungen	[-]	

Tabelle 23: Datentypen von Attributen für die Belastungsanalyse

Eingangsgröße	Einheiten	Beispiele
Entfernungsangabe	[cm; m; km]	Greifweg, Laufweg
Zeitdauer	[s; min; h; d; w]	Prozessdauer, Haltedauer, Tragedauer
Relationale Zeitangabe	[# / Schicht; %; sec/min; min/Schicht]	Ausführungs- und Wiederholhäufigkeit von Montageprozessen
Bewegungsgeschwindigkeit	[m/s; km/h]	Ausführungsgeschwindigkeit von Montageprozessen
Winkel	[°]	Handwinkel, Auslenkung des Nackens
Kräfte und Gewichte	[kg; N]	Bauteilgewicht
Physikalische Einheit	[lux; db(A)]	Lichtstärke, Lärmentwicklung am Arbeitsplatz
Arbeitsausführungsbedingung, Arbeitsorganisation	[-]	Ordinale Skalierung mit Auswahl aus vorgegebenen Definitionen
Körperhaltung, Körper(teil)stellung	[-]	Ordinale Skalierung mit Auswahl aus vorgegebenen Definitionen

Module zur Bewertung und Anpassung des Planungsstandes

Bewertung des Planungsstandes und Priorisierung von Adaptionsbedarfen

Das Modul bildet die im Rahmen der Methodikentwicklung definierten Prozessschritte ab. Die Berechnungsschritte zur Priorisierung von Adaptionsbedarfen sind entgegen der Methodikstruktur im Modul zur Bewertung des Planungsstandes integriert, da die genutzten Datenbasen mit denen der Bewertung übereinstimmen.

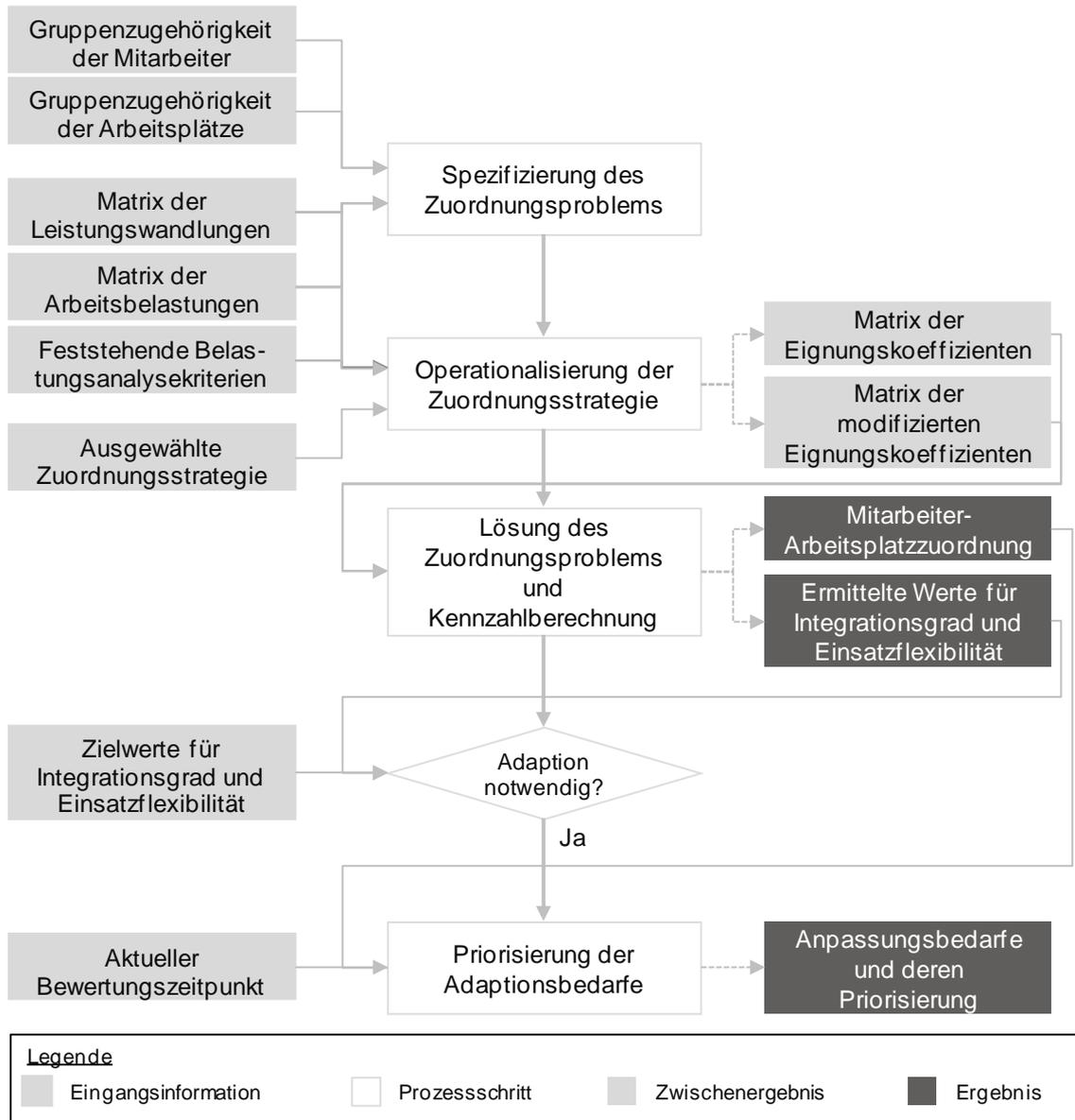


Abbildung 46: Ein- und Ausgangsinformationen sowie realisierte Prozessschritte zur Bewertung des Planungsstandes und zur Priorisierung von Adaptionsbedarfen

Das Modul ist mittels des kommerziell erhältlichen Softwarepaketes Tecnomatix® Plant Simulation 10® umgesetzt. Die Anwendung von Standard- oder spezieller Mathematiksoftware ist ebenfalls möglich, da die Implementierung des Zuordnungsproblems und der Auswertungsalgorithmen keine rechenintensiven Operationen darstellen. Für die gewählte Lösung spricht die Möglichkeit zur Simulation der Auswirkungen von Mitarbeiter-Arbeitsplatzzuordnungen auf die Leistungsfähigkeit des Montagesystems in einem nächsten, noch ausstehenden Schritt. Im Rahmen des Bewertungsmoduls wird die Ungarische Methode nach KUHN (1955) und MUNKRES (1957) genutzt.

Anpassung des Planungsstandes

Das Modul zur Anpassung des Planungsstandes dient dem Management verfügbarer Maßnahmen, als Wissensspeicher zur Sicherstellung der Verfügbarkeit benötigter Informationen entlang des Montageplanungsprozesses und nach der Priorisierung von Adaptionsbedarfen. Relevante Maßnahmeninformationen sind in einem datenbankbasierten System mit einem GUI (kurz für Graphical User Interface) umgesetzt (Abbildung 47). Die Applikation ist in Visual C# implementiert (basierend auf dem .NET Framework von Microsoft®). Der Zugriff erfolgt über eine Schnittstelle zu einer mehrnutzerfähigen Datenbank, die neben Maßnahmen einen Referenzplanungsprozess und eine Definition verwendeter Belastungsanalysekriterien enthält. *Abbildung 48* zeigt die ergonomische Maßnahmenbewertung mit Visualisierung beeinflussbarer Belastungsanalysekriterien.

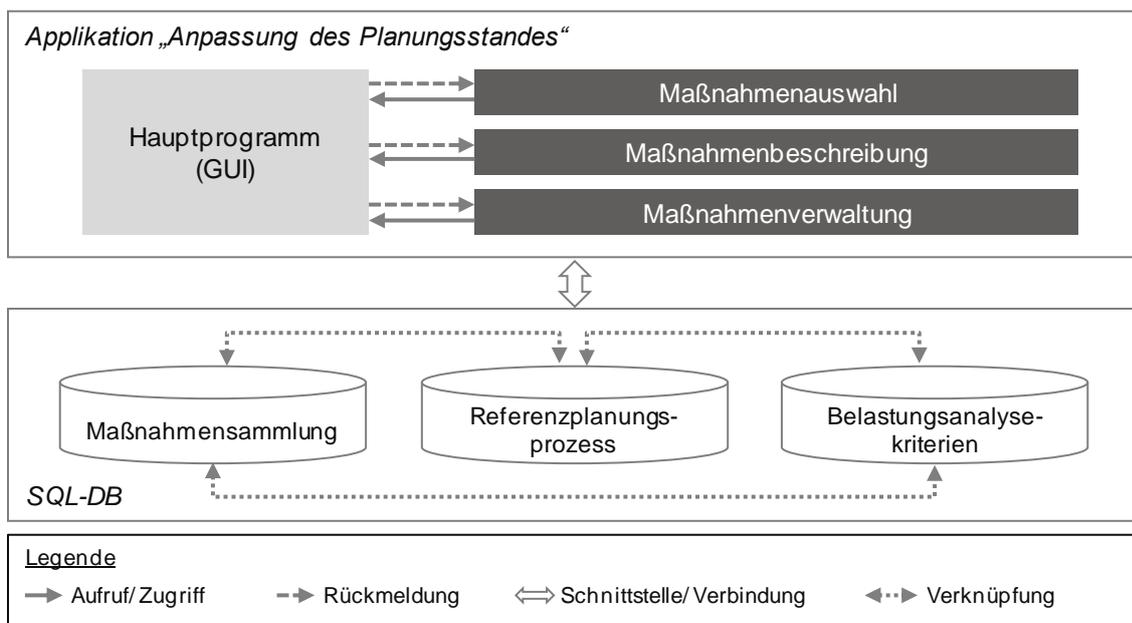


Abbildung 47: Aufbau des Moduls zur Anpassung des Planungsstandes

Abbildung 48: Exemplarische ergonomische Maßnahmenbewertung mit Visualisierung potenziell beeinflussbarer Belastungsanalysekriterien

1/10 Maßnahmenkatalog
Speichern

Planungsbasierte Maßnahmenauswahl |
 Maßnahmenbeschreibung |
 Maßnahmenverwaltung

Steh-Sitz-Hilfe

Wechsel zwischen ergonomisch günstigen Körperhaltungen an ortsfesten Montagearbeitsplätzen

Allgemeine Informationen

Zweck:
Die Steh- und Sitzhilfe erlaubt dem Anwender eine ergonomisch günstige Position während der Arbeitsausführung einzunehmen. Falls produktionsablaufbedingt möglich, ist ein Sitzarbeitsplatz der Steh-Sitzhilfe vorzuziehen, um die Muskelbeanspruchung in den Beinen zu reduzieren.

Bezugshinweise:
(1) Hoffmann-Group
(2) Dauphin
(3) Rohde & Grahl

Einsatz:
Vor Arbeitsbeginn muss durch Betätigung des Einstellhebels die Steh- und Sitzhilfe auf die Körpergröße des Mitarbeiters angepasst werden (Dauer ca. 0,5 Minute). Verunreinigungen lassen sich mit einem feuchten Tuch entfernen. Nach Arbeitsende kann das Hilfsmittel durch einen Klappmechanismus platzsparend verstaut werden.
Referenzunternehmen: BMW, MAN Nutzfahrzeuge

Publikationshinweise:
Bullinger, Hans-Jörg; Ammer, Dieter (1986): Systematische Montageplanung. Handbuch für die Praxis. München: Hanser.

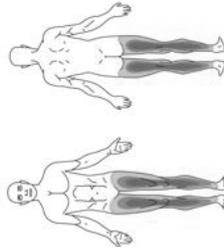
Detaillierte Informationen zur Maßnahme

Ergonomische Betrachtung

Bewertungskriterien...

Sensomotorik

Kopf



Obere Extremitäten

Untere Extremitäten
Entlastung der Beinmuskulatur. Wechsel zwischen stehender, steh-sitzender und sitzender Tätigkeitsausführung möglich

Gesamter Körper

Farblich markierte Körperbereiche können durch die Maßnahme positiv oder negativ beeinflusst werden.

Kognition, Konatation und Arbeitsfähigkeit

Detaillierte Informationen zur Maßnahme

Verzeichnis betreuter Studienarbeiten

Im Rahmen dieser Dissertation entstanden am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*) der Technischen Universität München (TUM) in den Jahren 2008 bis 2012 unter wesentlicher wissenschaftlicher, fachlicher und inhaltlicher Anleitung des Autors die im Folgenden aufgeführten studentischen Arbeiten. In diesen Arbeiten wurden verschiedene Fragestellungen zur Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter in den Planungsprozess von Montagesystemen untersucht, Entstandene Ergebnisse sind teilweise in das vorliegende Dokument eingeflossen. Der Autor dankt allen Studierenden herzlich für ihr Engagement bei der Unterstützung dieser wissenschaftlichen Arbeit.

DANYLYUK 2012

Danylyuk, A.: Ziel- und Kennzahlssystem zur Integration von Belegschaftsanforderungen in die Montagesystemplanung. Semesterarbeit (Nr. 2011/42-S). Garching: 2012.

GLONEGGER 2010

Glonegger, M.: Entwicklung eines Referenzmodells zur belegschaftsgerechten Montagesystemgestaltung. Diplomarbeit (Nr. 2009/34-D). Garching: 2010.

HEES 2011

Hees, A.: Entwicklung einer Methode zur montageplanungsbegleitenden Integration von Mitarbeiteranforderungen. Semesterarbeit (Nr. 2010/76-S). Garching: 2011.

LENHARD 2011

Lenhard, L.: Quantifizierung und Zielsystemintegration von Mitarbeiterfähigkeiten in Montagesystemplanungsprojekten. Semesterarbeit (Nr. 2010/71-S). Garching: 2011

MÜHLEGG 2010

Mühlegg, M.: Realisierung individualisierter Produktionsarbeitsplätze am Beispiel der Automatisierung einer höhenverstellbaren Arbeitsplatzeinrichtung. Semesterarbeit (Nr. 2010/53-S). Garching: 2010.

RADOSAVAC 2009

Radosavac, M.: Entwicklung eines Maßnahmenbaukastens zur belegschaftsgerechten Gestaltung von Montagesystemen. Semesterarbeit (Nr. 2009/17-S). Garching: 2009.